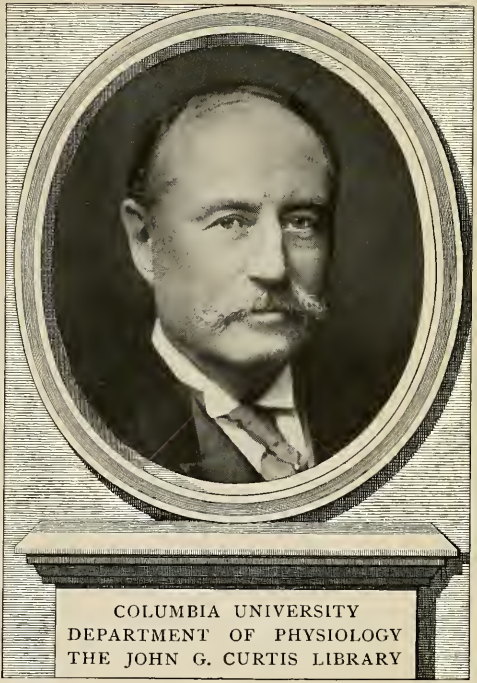
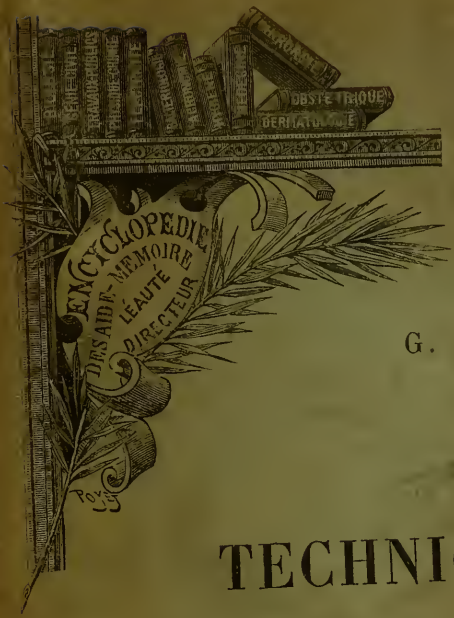
COLUMBIA LIBRARIES OFFSITE
HEALTH SCIENCES STANDARD
HX64102955
QP341 .W43 Technique d'electrop
RECAP

QP341 W42


COLUMBIA UNIVERSITY
DEPARTMENT OF PHYSIOLOGY
THE JOHN G. CURTIS LIBRARY

Digitized by the Internet Archive
in 2010 with funding from
Columbia University Libraries

http://www.archive.org/details/techniquedlect00weis



Section du Biologiste

G. WEISS

TECHNIQUE D'ÉLECTROPHYSIOLOGIE

G. MASSON
GAUTHIER-VILLARS ET FIL

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

Section du Biologiste

MM.

Arloing (S.).
Auvard.
Ballet (Gilbert).
Bar.
Barthélemy.
Baudouin.
Bazy.
Beauregard (H.).
Bergé.
Berne (G.).
Berthaut.
Blanchard (R.).
Bonnaire.
Brault.
Brissaud.
Broca.
Brocq.
Brun.
Brun (de).
Budin.
Cazal (du).
Chantemesse.
Charrin.
Chatin (J.).
Chauffard.
Cornevin.
Crouzat.
Cuénot (L.).
Dastre.
Dehérain.
Delorme.
Demelin.
Dubois (Raphaël).
Durand-Fardel.
Duval (Mathias).
Faisans.
Féré.

MM.

Fernbach (A.).
Feulard.
Filhol (H.).
François-Franck.
Gamaleïa.
Garid.
Gérard-Marchant.
Gilbert.
Girard (Aimé).
Girard (A.-Ch.).
Gley.
Gombault.
Guerne (J. de).
Hanot.
Hartmann (H.).
Hébert (A.).
Henneguy.
Heydenreich.
Jacquet.
Joffroy.
Kœhler.
Labit.
Landouzy.
Langlois (P.).
Lannelongue.
Laperso[illegible]ne (de).
Lavarenne (de).
Laveran.
Lavergne.
Layet.
Le Dentu.
Legrain.
Legroux.
Lermoyez (M.).
Letulle.
Lhôte.
Magnan.

MM.

Marfan.
Marie (A.).
Martin (A.-J.).
Maygrier
Meyer.
Napias.
Nocard.
Olivier (Ad.).
Olivier (L.).
Ollier.
Patouillard.
Peraire.
Perrier (E[illegible]n.).
Peyrot.
Polin.
Pouchet (G.).
Pozzi.
Prillieux.
Quénu.
Reclus.
Retterer.
Roger (H.).
Ruault.
Séglas.
Segond.
Sérieux.
Stra[illegible]s.
Talamon.
[illegible]stut (J[illegible]).
Tissier.
Thoulet (J.).
Trousseau.
Vallon.
Viala.
Weill (J.).
Weiss (G.).
Wurtz.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE

DES

AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE

SOUS LA DIRECTION DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT

Ce volume est une publication de l'Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire ; F. Lafargue, ancien élève de l'École Polytechnique, Secrétaire général, 46, rue Jouffroy (boulevard Malesherbes), Paris.

N° 11 A.

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

TECHNIQUE D'ÉLECTROPHYSIOLOGIE

PAR LE

Dr G. WEISS

Ingénieur des Ponts et chaussées
Professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris

Avant-Propos de
M. LE PROFESSEUR GARIEL

PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-ÉDITEURS
Quai des Grands-Augustins, 55

G. MASSON, ÉDITEUR, LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
Boulevard Saint-Germain, 120

(Tous droits réservés)

2P341
W43

INDICATION DES NOTATIONS

ET UNITÉS EMPLOYÉES

—

r, *Ohm*. Unité de résistance électrique. Une colonne de mercure d'un millimètre carré de section et de $1^{m},06$ de longueur a sensiblement à 0°, une résistance d'un ohm ;

R, *Mégohm*. Unité un million de fois plus grande que la précédente.

E, *Volt*. Unité de force électromotrice. On n'a pas de représentation exacte du volt, mais l'élément Daniell s'en approche assez, pour que dans la pratique d'électrophysiologie on puisse admettre qu'il a exactement un volt ; il y a avantage dans ce cas à remplacer le sulfate de cuivre par de l'azotate, l'approximation est plus grande.

$\mathcal{E}$, Différence de potentiel correspondant à une force électromotrice d'un volt.

i, *Ampère.* Unité d'intensité de courant. C'est l'intensité du courant produit dans un circuit de résistance égale à un ohm par une force électromotrice de un volt. (Dans la pratique médicale et en électrophysiologie cette unité est beaucoup trop grande, et l'on se sert du milliampère, unité mille fois plus petite que l'ampère).

q, *Coulomb.* Unité de quantité d'électricité. C'est la quantité d'électricité qui passe par seconde en un point d'un circuit parcouru par un courant d'un ampère.

K, *Farad.* Unité de capacité électrique. C'est la capacité d'un conducteur qui prend un potentiel de un volt pour une charge d'un coulomb.

k, *Microfarad.* Unité un million de fois plus petite que la précédente; c'est toujours elle que l'on emploie dans les laboratoires.

$\mathfrak{T}$, *Kilogrammètre.* Unité de travail. C'est la quantité de travail nécessaire pour élever un kilogramme à un mètre de hauteur; l'opération inverse rend cette même quantité de travail.

j, *Joule*. Unité d'énergie électrique valant $\frac{1}{9,81}$ de kilogrammètre.

℔, *Cheval-vapeur*. Unité de puissance correspondant à 75 kilogrammètres par seconde.

w, *Watt*. Unité de puissance électrique valant $\frac{1}{736}$ de cheval-vapeur.

AVANT-PROPOS

—

Il serait sans intérêt de chercher à montrer l'importance des applications de l'électricité tant à la physiologie qu'à la médecine : nous ne pensons pas que personne cherche à nier aujourd'hui qu'on n'ait obtenu des résultats efficaces par l'emploi judicieux de cet agent qui, à d'autres points de vue, a déjà conduit à tant d'inventions qu'on peut, sans exagérer, qualifier de merveilleuses. Mais il faut reconnaître que les progrès de l'électrothérapie n'ont pas été rapides, et que cette partie de l'art de guérir en est encore à la période de l'empirisme pur. Les causes de cette situation sont variées : d'une part, il faut le re-

connaître, les applications de l'électricité à la guérison des maladies ont été faites trop souvent par des personnes insuffisamment au courant des propriétés de cet agent thérapeutique dont l'emploi est d'autant plus délicat que son action dépend de divers éléments, la quantité d'électricité, la différence de potentiel, l'intensité du courant, sa densité : trop souvent, les conditions d'une application heureuse qu'on décrit sont tellement vagues qu'il ne serait pas possible de la réaliser de la même facon, d'après la description. Il faut espérer, à cet égard, que les générations nouvelles seront mieux préparées et qu'elles apporteront dans l'étude de l'emploi médical de l'électricité non seulement une connaissance plus approfondie de cet agent, mais aussi, d'une manière générale, un esprit plus scientifique dont la nécessité se fait sentir plus vivement de jour en jour.

D'un autre côté, s'il est possible d'admettre que, par des tâtonnements nombreux, des essais faits au hasard, on puisse arriver à la longue à préciser les meilleures conditions de l'application de l'électricité à l'amélioration de tel état pathologique donné, nous croyons que, pour atteindre ce résultat d'une manière plus précise et plus rapide, il est nécessaire de connaître nettement

les effets de l'électricité sur l'organisme sain : l'étude de l'électrophysiologie est une introduction nécessaire à celle de l'électrothérapie. Nous croyons qu'il viendra un temps, que nous souhaitons le plus rapproché possible, où cette idée sera universellement adoptée. Mais pour qu'il en puisse être ainsi, il est de toute nécessité que l'électrophysiologie se présente avec une certitude, une netteté qu'elle est loin d'avoir aujourd'hui. Les faits qui s'y rattachent sont nombreux, mais mal coordonnés, quelquefois contradictoires et presque toujours mal déterminés dans les conditions de réalisation, si bien que, non-seulement un observateur répétant une expérience décrite antérieurement n'est pas assuré de trouver les mêmes résultats, mais que quelquefois un même observateur obtient des effets différents dans deux expériences qu'il croit être l'exacte répétition l'une de l'autre.

Nous ne serions pas éloignés de croire que la plupart des faits qui ont été signalés en électrophysiologie doivent être étudiés à nouveau, mais en s'attachant à préciser toutes les mesures qui ont été prises, soit pour pouvoir reproduire ces mêmes faits *identiquement*, soit pour pouvoir les discuter et spécifier les précautions qui ont été insuffisantes.

Aussi nous pensons qu'un manuel de technique d'électrophysiologie est appelé actuellement à rendre les plus grands services, et qu'il doit être le *vade mecum* de toute personne s'occupant de recherches de ce genre. M. Weiss, par ses études antérieures, par ses recherches personnelles, était dans les meilleures conditions pour faire un ouvrage qui fût à la fois scientifique dans son esprit et pratique dans les indications qu'il fournit; l'ouvrage qu'il a fait nous semble répondre aux conditions qu'on devait rechercher et nous croyons qu'il peut être le point de départ des recherches nouvelles précises, bien coordonnées, bien *déterminées* dont les résultats peuvent avoir une grande influence sur les progrès de l'électrophysiologie et sur ceux de l'électrothérapie.

C. M. GARIEL.

FORMULES ET LOIS INDISPENSABLES A CONNAITRE

—

1. La formule suivante donne en coulombs la quantité d'électricité que prend un corps, un condensateur par exemple, de capacité K farads pour une variation de potentiel de $\mathcal{E}$ volts :

$$q = K\mathcal{E}$$

2. On a en coulombs la quantité d'électricité passant dans un conducteur en multipliant l'intensité du courant exprimée en ampères par le nombre de secondes pendant lequel dure le passage :

$$q = it$$

3. — Lois d'Ohm

$$i = \frac{\mathcal{E}}{r} \quad \text{ou} \quad i = \frac{E}{r}$$

E étant la force électromotrice correspondant au potentiel $\mathcal{E}$.

On obtient, en ampères, l'intensité du courant traversant un conducteur en divisant le chiffre exprimant en volts la différence de potentiel aux extrémités du conducteur par la résistance de ce conducteur exprimée en ohms.

$$r = a\,\frac{l}{s}$$

La résistance d'un conducteur cylindrique s'obtient en divisant la longueur du cylindre par sa section et en multipliant le résultat par un nombre a dépendant de la nature du conducteur. Ce nombre appelé résistance spécifique se trouve dans des tables dressées pour cet usage.

La conductibilité est l'inverse de la résistance

$$c = \frac{1}{r}$$

4. — Lorsque l'on met bout à bout plusieurs conducteurs, le courant devant les traverser tous l'un après l'autre, leurs résistances s'ajoutent.

Si au contraire on place les conducteurs côte à côte de façon à ce que le courant se partage pour les traverser, ce sont les conductibilités qui s'ajoutent.

Par conséquent si l'on a plusieurs résistances $\mathbf{r}', \mathbf{r}'', \mathbf{r}'''$, etc. suivant la façon dont on les disposera, on formera un conducteur dont la résistance $\mathbf{r}_1$ sera donnée par

$$\mathbf{r}_1 = \mathbf{r} + \mathbf{r}' + \mathbf{r}'' + \ldots.$$

ou par

$$\frac{1}{\mathbf{r}_1} = \frac{1}{\mathbf{r}} + \frac{1}{\mathbf{r}'} + \frac{1}{\mathbf{r}''} + \ldots.$$

5. *Association des éléments.* — Si on met m éléments de pile ayant chacun une force électromotrice $\mathbf{E}$, les uns à la suite des autres en les rassemblant par leurs pôles de nom contraire, il restera d'un côté un pôle positif, de l'autre un pôle négatif et la chaîne ainsi formée aura une force électromotrice égale à $m\mathbf{E}$: les forces électromotrices des divers éléments se sont ajoutées. Cet assemblage est dit en série.

Si on associe m éléments en reliant tous les pôles positifs ensemble et tous les pôles négatifs ensemble, la force électromotrice de la pile est la

même que celle d'un seul élément. Cet assemblage est dit en batterie.

Conséquence de 4 et de 5. — Si on assemble m éléments en série d'après le premier alinéa de 4 et de 5, la résistance de la pile est $m\mathbf{r}$, sa force électromotrice $m\mathbf{E}$; si la résistance extérieure est $\mathbf{r}'$, l'intensité du courant sera

$$\mathbf{i} = \frac{m\mathbf{E}}{m\mathbf{r} + \mathbf{r}'}.$$

Si on assemble m éléments en batterie, d'après le deuxième paragraphe de 4 et de 5, la résistance de la pile est $\frac{\mathbf{r}}{m}$; sa force électromotrice est E ; s. la résistance extérieure est $\mathbf{r}'$, l'intensité du courant sera

$$\mathbf{i} = \frac{\mathbf{E}}{\frac{\mathbf{r}}{m} + \mathbf{r}'} \quad \text{ou} \quad \mathbf{i} = \frac{m\mathbf{E}}{\mathbf{r} + m\mathbf{r}'}.$$

Enfin on verra par le même raisonnement que si on associe n éléments en batterie, puis que l'on mette p batteries pareilles en série on aura

$$\mathbf{i} = \frac{np\mathbf{E}}{p\mathbf{r} + n\mathbf{r}'}.$$

On arrive au même résultat en mettant d'abord p éléments en série, puis associant n séries pareilles en batterie.

6. *Courants dérivés.* — Quand il se produit une bifurcation dans un circuit, les courants qui parcourent les deux branches ont des intensités en raison inverse des résistances de ces branches.

7. *Energie des décharges électriques.* — Si l'on a un corps chargé d'une quantité d'électricité q en coulombs, de capacité $\mathbf{K}$ farads, et se trouvant par suite à un potentiel $\mathcal{E}$ plus élevé qu'avant la charge, au moment où ce corps revient par une décharge à son état primitif, il y a une dépense d'énergie donnée en joules par

$$\mathbf{j} = \frac{1}{2}\,\mathcal{E}\mathbf{q} \quad \text{ou bien} \quad \mathbf{j} = \frac{1}{2}\,\mathcal{E}^2\mathbf{K}.$$

Pour avoir ces décharges évaluées en kilogrammètres, il suffit de diviser les nombres obtenus par 9,81

$$\tau = \frac{1}{2.\ 9{,}81}\,\mathcal{E}\mathbf{q} \quad \text{ou bien} \quad \tau = \frac{1}{2.\ 9{,}81}\,\mathcal{E}^2\mathbf{K}$$

8. *Puissance des courants.* — Quand on a un courant d'intensité égale à $\mathbf{i}$ ampères dans un circuit de résistance égale à $\mathbf{r}$ ohms et aux extrémités duquel il y a par suite une différence de potentiel $\mathcal{E} = \mathbf{ir}$, la puissance de ce courant évaluée en watts est donnée par une des formules

$$\mathbf{w} = \mathbf{i}^2\mathbf{r}, \qquad \mathbf{w} = \frac{\mathcal{E}^2}{\mathbf{r}} \qquad \text{ou } \mathbf{w} = \mathcal{E}\mathbf{i}$$

Pour avoir la valeur $\mathfrak{P}$ exprimée en chevaux vapeurs il suffit de diviser par 736

$$\mathfrak{P} = \frac{1}{736}\,\mathbf{i}^2\mathbf{r}, \qquad \mathfrak{P} = \frac{1}{736}\,\frac{\mathcal{E}^2}{\mathbf{r}} \qquad \text{ou} \qquad \mathfrak{P} = \frac{1}{736}\,\mathcal{E}\mathbf{i};$$

Dans chaque cas particulier on emploie la formule la plus commode.

Si l'on veut avoir la quantité d'énergie dépensée dans un temps déterminé t exprimé en secondes, on l'obtient en joules au moyen de

$$\mathbf{j} = \mathbf{i}^2\mathbf{r}t, \qquad \mathbf{j} = \frac{\mathcal{E}^2}{\mathbf{r}}\,t \qquad \text{ou} \qquad \mathbf{j} = \mathcal{E}\mathbf{i}t$$

ou en kilogrammètres en divisant ces résultats par 9,81.

9. — Si l'on veut avoir la quantité de chaleur produite par une décharge ou le passage d'un courant, il faut diviser l'énergie exprimée en kilogrammètres par 425 équivalent mécanique de la chaleur : La chaleur est donnée en calories.

10. *Actions chimiques des courants.* — Lorsqu'un courant traverse un liquide il se produit des décompositions et les éléments nouveaux mis en liberté apparaissent aux deux pôles.

Faraday a démontré que la décomposition n'était nullement influencée par la position dans le circuit, c'est-à-dire qu'elle était identiquement la même que l'appareil où elle se fait fût plus près du pôle + ou du pôle — de la pile. L'effet ne dépend que du temps et de l'intensité du courant, quelle que soit la source qui l'a fourni ; il croît proportionnellement à l'intensité et par conséquent à la quantité d'électricité en jeu.

11. — Quelle que soit la manière dont on produise des courants d'induction, la quantité d'électricité induite directe est égale à la quantité d'électricité induite inverse pour des variations inverses de l'inducteur, sans que les durées de ces variations aient aucune influence et à la

seule condition qu'après les deux ondes induites les choses soient revenues à leur état premier. Ainsi l'onde de rupture et l'onde de fermeture d'une bobine de Ruhmkorff mettent en jeu la même quantité d'électricité. De même, dans un tour complet d'une machine dynamo à courants alternatifs, il n'y a pas plus d'électricité mise en jeu dans un sens que dans l'autre. Il en résulte que de pareils courants ne donnent pas de dépôts électrolytiques.

PREMIÈRE PARTIE

—

COMPARAISON DES GRANDEURS AVEC L'UNITÉ INSTRUMENTS DE MESURE

1. — Dans un laboratoire d'électrophysiologie on peut avoir à faire toutes sortes de mesures que l'on rencontre d'une façon générale en physique; les appareils que l'on emploie sont alors ceux qui sont usités dans tout laboratoire, et je n'ai pas à les décrire ici, ils rentrent dans la technique générale. Mais il y a des appareils spécialement imaginés pour les recherches d'électrophysiologie; parfois aussi un instrument courant de laboratoire a été légèrement modifié en vue d'une application spéciale : ce sont ceux-là

que je veux étudier ; pour les autres, je ne donnerai que les renseignements indispensables au physiologiste qui, faute d'être prévenu, pourrait souvent commettre de grandes erreurs dans leur emploi.

CHAPITRE PREMIER

—

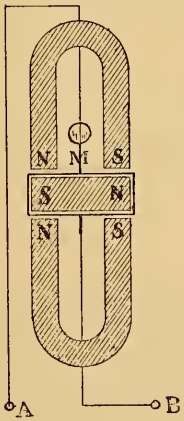
MESURE DES INTENSITÉS

2. — Les galvanomètres du type Nobili, encore cités aujourd'hui dans beaucoup d'ouvrages comme des instruments merveilleux, ne sont que très médiocres et doivent absolument être relégués dans les vitrines. Ils seront remplacés avec avantage par les deux appareils suivants :

3. Galvanomètre d'Arsonval. — Le premier imaginé par M. d'Arsonval est à circuit mobile, c'est une modification du galvanomètre connu sous le nom de Deprez-d'Arsonval.

Le champ magnétique est créé par deux aimants en fer à cheval ayant leurs pôles de même nom en regard. Entre les deux se trouve un fer doux pour concentrer le champ, et dans l'espace libre peut se mouvoir un cadre dont l'axe de rotation est un fil de suspension traversant les deux aimants sans les toucher. Le courant arrive, par exemple, par la borne A, passe par le fil de suspension supérieur, le cadre, le fil de suspension inférieur et retourne au circuit extérieur par la borne B. Sous l'influence du courant le cadre est dévié de sa position et l'angle de déviation est lu par réflexion à l'aide du miroir M. Les déviations étant toujours très faibles sont proportionnelles aux intensités des courants.

Fig. 1



Avantages. — Cet appareil est très sensible ; on peut faire varier la sensibilité dans certaines limites en déplaçant les deux aimants, il est très apériodique, enfin, et ceci est parfois des plus précieux, il n'est pas influencé par les variations du champ magnétique dans lequel se trouve

l'opérateur, grâce à la grande prédominance des aimants. Les aimants et tout le dispositif sont fixés sur une planche que l'on suspend au mur ; on évite ainsi l'ennui des supports qu'on ne peut transporter d'un point à un autre à moins qu'ils ne reposent sur le plancher, ce qui est mauvais à cause des trépidations provoquées par la marche de l'opérateur.

Inconvénients. — Il y a aussi un certain nombre d'inconvénients. La variation de sensibilité exige une manœuvre assez compliquée, et il est difficile de produire cette variation d'une façon continue pour arriver au point désiré. Lorsqu'on éloigne les aimants, l'apériodicité diminue rapidement ; elle n'a d'ailleurs lieu que lorsque le circuit extérieur est fermé sur une résistance pas trop grande. On ne peut facilement changer le cadre et par suite la résistance du galvanomètre ; en effet, cette opération ne s'effectue pas sans tordre plus ou moins les fils de suspension, et la torsion qui en résulte, loin d'être permanente, est une cause continuelle de variation du zéro. Si l'on tient absolument à changer de cadre ou si la suspension vient à se casser, voici comment il faut opérer. On prend des fils d'argent ou de platine d'environ $\frac{1}{10}$ de millimètre de diamètre et on les recuit avec soin. Pour le platine, rien

de plus simple, il suffit de passer les fils dans la flamme d'une lampe à alcool ; mais, dans ces conditions, l'argent fondrait, on passe alors le fil dans un tube en cuivre que l'on chauffe jusqu'au rouge sans avoir rien à risquer. Cela fait, on accroche le fil au cadre à l'aide de deux petites boucles préparées avant le recuit et on suspend le tout en évitant autant que possible les torsions.

Le cadre uue fois en place, on le fait osciller en y lançant de faibles décharges, ces oscillations lui font perdre peu à peu sa torsion permanente. Une suspension est d'autant meilleure qu'elle est plus ancienne et quand on en a une bonne il faut bien se garder d'y toucher. Enfin il faut encore se mettre en garde contre les courants induits produits pendant le déplacement du cadre et qui peuvent être une cause d'erreur. L'influence de ces courants est facile à mettre en évidence ; en effet, attachons deux fils aux bornes du galvanomètre et plaçons les extrémités de ces fils sur deux points du sciatique d'une grenouille galvanoscopique, nous verrons la patte correspondante se contracter chaque fois qu'à l'aide d'un léger coup nous écarterons le cadre de sa position.

En terminant, je dirai qu'il est utile de pouvoir à un moment quelconque fermer le circuit

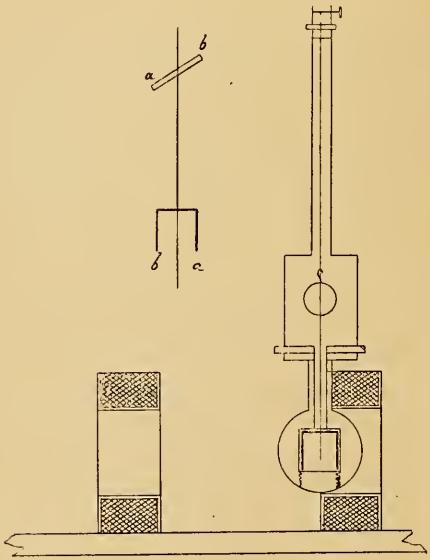
du galvanomètre sur lui-même afin de ramener l'appareil au zéro et d'éteindre les oscillations ; il suffit de fixer aux bornes, outre les deux fils qu'il y a déjà, deux autres fils aboutissant à un commutateur permettant d'établir ou de rompre un court circuit entre les deux bornes.

4. Boussole de Wiedemann. — Le second galvanomètre que nous citerons est la boussole de Wiedemann. Elle se compose essentiellement d'un aimant mobile à l'extrémité d'un fil de cocon et subissant l'action d'une ou de deux bobines dans laquelle passe le courant à mesurer. L'aimant est mobile au milieu d'une masse de cuivre dans laquelle se produisent des courants d'induction lors du déplacement de l'aimant et par suite, donne lieu à un amortissement. Les bobines mobiles sur une règle peuvent être plus ou moins rapprochées de l'aimant mobile et l'on dispose ainsi de la sensibilité de l'appareil dans de très grandes limites. On peut d'ailleurs suivant les cas employer des bobines à fil plus ou moins gros.

Les lectures se font toujours au miroir et les déviations étant très faibles sont proportionnelles aux intensités des courants. Tels sont les éléments essentiels de cet appareil. On en a fait

divers modèles. M. d'Arsonval entre autres en a donné un dispositif très pratique. Il est bon d'installer ce galvanomètre à poste fixe sur un

Fig. 2



support scellé dans le mur, on place la règle supportant les bobines perpendiculairement au méridien magnétique et l'on vérifie qu'en renver-

sant le sens du courant les déviations de sens contraire sont égales. L'aimant devra être aussi près que possible du fond de sa loge en cuivre. En général, on a deux paires de bobines, l'une à fil fin pour le cas où le circuit extérieur au galvanomètre est résistant, l'autre à fil gros, préférable quand ce circuit est peu résistant. Si dans une expérience aucune de ces deux paires ne donne de déviation suffisante, il faut augmenter la sensibilité en diminuant l'action directrice de la terre sur l'aimant. Ceci peut se faire de deux façons : on peut à l'aide d'un barreau aimanté rendre le champ terrestre aussi faible que l'on veut au point où se trouve l'aimant ; on arrive ainsi à une grande sensibilité, mais on se heurte à un inconvénient grave ; si pour une raison quelconque la composante terrestre vient à être modifiée, la résultante produite avec la composante du barreau aimanté change de direction et par suite aussi le zéro des lectures varie ; cet effet peut être assez considérable pour faire sortir l'image des limites de la règle.

Il n'en est plus ainsi si l'on fait un équipage à la Nobili en collant un second aimant derrière le miroir. En choisissant convenablement les deux aimants on peut rendre l'action directrice de la terre très faible ; on peut même la réduire

autant qu'on le veut en prenant pour second aimant un aimant linéaire ayant un moment magnétique un peu supérieur à celui de l'aimant inférieur, et en l'inclinant convenablement sur la verticale. On a intérêt à prendre toujours un équipage de ce genre, car ce n'est que dans ces conditions que l'appareil est apériodique ; si l'on a trop de sensibilité on ne prend qu'une seule bobine éloignée de l'aimant.

5. Étalonnage des appareils. — Nous avons vu que dans les deux appareils dont il vient d'être question les déviations étaient toujours très faibles et proportionnelles aux intensités des courants ; il suffit donc pour pouvoir faire des mesures en valeurs absolues de connaître dans chaque cas l'intensité du courant correspondant à une déviation donnée. Le moyen le plus simple consiste à prendre un élément Daniell et à le placer dans le circuit du galvanomètre en même temps qu'une grande résistance connue. On calcule l'intensité du courant au moyen de la formule de Ohm en admettant que le Daniell ait une force électromotrice de 1 volt, approximation très suffisante pour les expériences d'électrophysiologie. Il est bien évident qu'il faut tenir compte de la résistance du galvanomètre ;

quant à celle de l'élément, dans la plupart des cas, on pourra la négliger vis-à-vis des grandes résistances qu'il faudra employer pour ramener la déviation dans les limites de l'échelle.

CHAPITRE II

—

MESURE DES QUANTITÉS D'ÉLECTRICITÉ

6. — Pour mesurer les quantités d'électricité, on peut s'adresser à une action chimique. En faisant passer la décharge ou le courant à travers une solution électrolytique on aura, par une pesée avant et après l'expérience, ou par une mesure de volume de gaz, la quantité de matière décomposée et par suite la quantité d'électricité qui a passé. Mais, dans un grand nombre d'expériences d'électrophysiologie, les quantités d'électricité en jeu sont trop faibles pour donner une électrolyse appréciable, le procédé le plus com

mode est alors l'emploi du galvanomètre balistique. Si on lance une décharge électrique à travers le circuit d'un galvanomètre et que le passage soit terminé avant que l'équipage mobile se soit déplacé, l'amplitude de la première oscillation ou élongation est proportionnelle à la quantité d'électricité qui a passé. Pour rendre un galvanomètre balistique, il faut augmenter le moment d'inertie de l'équipage mobile. On y arrive en le surchargeant, aussi loin que possible de l'axe de rotation, de petites masses de plomb. Je me sers souvent du galvanomètre à circuit mobile décrit plus haut, dans le cas où j'emploie des décharges de condensateur. En surchargeant trop le cadre on réduit la sensibilité de l'instrument; en ne le chargeant pas assez les déviations ne sont pas proportionnelles aux quantités d'électricité. Voici comment il faut opérer. On charge le cadre jusqu'à avoir la sensibilité désirée, puis on lance dans le circuit une décharge de condensateur et on vérifie : 1° Que la déviation est toujours la même pour une même décharge quelle que soit la résistance intercalée, dans certaines limites, bien entendu : en la portant par exemple, de 0 à cent mille ohms. 2° Que si l'on fait varier la self-induction du circuit en y intercalant une bobine, on n'observe pas de diffé-

rence. 3° Que si l'on prend un condensateur que l'on porte à des potentiels variables, ou dont on fait varier la capacité, on a des déviations proportionnelles aux quantités d'électricité mises en jeu. Dans ces conditions on a un excellent appareil ; il est bien évident qu'il ne faut lancer la décharge que lorsque l'appareil est ramené au zéro à l'aide du court circuit décrit plus haut. Le galvanomètre à circuit mobile ne peut servir comme balistique que dans le cas où le circuit extérieur est rompu lors de la décharge, par exemple dans le cas des décharges de condensateur, sans cela l'amortissement fausse complètement les résultats. Si, par exemple, on voulait étudier des ondes induites, on ne pourrait plus en faire usage, le circuit extérieur étant alors forcément fermé pendant la décharge ; on prend alors un galvanomètre à aimant mobile dont on charge l'aiguille, faisant les mêmes vérifications que dans le cas précédent. Il est bien évident qu'il faut aussi dans ce cas éviter tout amortissement ; ainsi, dans le cas de la boussole de Wiedemann, on doit retirer la sphère de cuivre.

CHAPITRE III

—

MESURE DES DIFFÉRENCES DE POTENTIEL

7. — On ne peut considérer le potentiel en valeur absolue, mais seulement la différence entre la valeur du potentiel d'un certain corps et celui d'un autre. De même dans l'étude expérimentale de la chaleur on ne mesure pas des températures absolues, mais avec la convention faite, des différences entre la température des corps étudiés et la température de la glace fondante. On adopte en général comme zéro des potentiels, le potentiel de la terre au point où l'on se trouve : si ce potentiel reste constant, en mesurant une série

de potentiels par rapport à celui-là, on aura leurs différences d'une façon exacte, et ces différences seules sont intéressantes. Dans un laboratoire, on prend le potentiel de la terre en attachant un conducteur à un tuyau de gaz où à une conduite d'eau ; il est certain que de cette façon on n'a pas un potentiel constant et qu'il peut s'introduire des erreurs de ce fait ; il faudra y songer lorsque l'on fera des expériences sur ce sujet. Une autre cause d'erreur provient de l'influence que peuvent avoir sur le corps étudié ou sur l'appareil des corps voisins, entre autres les murs du laboratoire. Ces raisons et les difficultés que l'on rencontre dans le maniement des électromètres, instruments bien plus délicats que les galvanomètres, ont restreint les mesures de potentiel en électrophysiologie ; avec du soin on peut cependant en faire de très convenables.

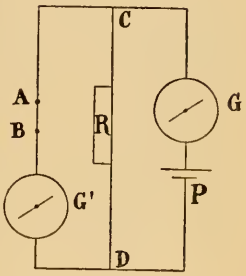
8. — Comme premier appareil nous rencontrons le voltmètre, excellent dans le cas où l'on veut mesurer la différence de potentiel entre deux points dont la différence de potentiel se régénère sans cesse et qui n'ont pas entre eux de résistance pas trop grande, par exemple la différence de potentiel produite par une pile. On

peut aussi employer la méthode balistique, consistant à charger à l'aide de la source que l'on étudie, un condensateur de capacité connue ; on mesure la quantité d'électricité qu'il prend par la méthode balistique, et la formule $Q = K\mathcal{E}$ donne la différence de potentiel entre les armatures et par suite entre les corps avec lesquels elles étaient en communication.

Enfin, il y a une méthode extrêmement sensible :

Soient A et B les deux points dont on veut étudier la différence de potentiel, on les place dans le circuit d'une pile. P en opposition et on établit une déviation CD. On ajuste la résistance de la boîte R, de façon à ce que le galvanomètre sensible G′ reste au zéro ; à ce moment, le courant dans CABD étant nul ; la différence de potentiel de A et B est la même que celle de C et D, or celle-là est aisée à connaître. En effet, G donne l'intensité **i** du courant parcourant le fil CD ; soit **r** la résistance de ce fil et de la boîte R, la différence de potentiel entre

Fig. 3



C et D est donnée par $\mathcal{E} = ir$ d'après la formule de Ohm.

Les électromètres dont on fait usage sont de deux types : le type Thomson, et l'électromètre capillaire.

9. Électromètre Thomson. — L'électromètre Thomson, bien monté, est d'une grande sensibilité ; le seul défaut qu'on lui reproche en général est de ne pas revenir au zéro. En prenant les précautions que je vais indiquer, on évitera cet inconvénient ; il ne subsistera que des déplacements inférieurs à un millimètre sur la règle placée à un mètre, alors qu'un volt donnera une déviation de 20 centimètres ; l'erreur sera donc négligeable pour des expériences d'électrophysiologie.

On doit absolument rejeter les fils de cocon et les contacts de l'aiguille avec un liquide. Il faut se servir d'un fil de platine très fin, recuit avec soin, comme nous l'avons dit pour le galvanomètre ; mais, comme les couples auxquels on a à faire sont extrêmement faibles et que la résistance des fils à la torsion croît extrêmement rapidement avec le diamètre (en doublant le diamètre d'un fil un même couple de torsion donne une déviation seize fois plus petite), il faut arri-

ver à des finesses extrêmes. M. Gaiffe m'a procuré des fils étirés à la filière jusqu'à $\frac{1}{50}$ de millimètre de diamètre. L'aiguille devra être extrêmement légère ; plus elle est lourde, moins le zéro est stable. J'ajoute que pour ne pas avoir une série interminable d'oscillations un amortissement nécessaire. Dans le modèle de M. Curie, cet effet se produit par l'action de quadrants en acier aimanté ; il fonctionne très bien ; on peut rapprocher la face supérieure de la face inférieure de ces quadrants et faire ainsi varier l'amortissement et la sensibilité de l'appareil.

Enfin, il y a la question de la pile de charge. Si l'on tient à la symétrie absolue, il faut employer la méthode de M. Gouy ; malheureusement elle exige une résistance extrêmement considérable et par suite fort onéreuse. Les erreurs que l'on commet en chargeant l'aiguille sont si faibles qu'il n'y a pas lieu d'en tenir compte, et l'on a ainsi un zéro stable malgré les variations de la pile de charge.

10. Électromètres capillaires. — Les électromètres capillaires ont sur le système précédent l'avantage considérable d'éviter la pile de charge. Il y en a plusieurs modèles. Après divers essais c'est encore celui de M. Lippmann que je

préfère ; dans les débuts on s'en sert avec peine, mais une fois qu'il est bien installé et qu'on en a quelque habitude, on en tire d'excellents résultats. Je renvoie aux traités d'électricité pour la description de cet appareil, je ferai seulement quelques recommandations aux physiologistes qui voudront en faire usage. Plus encore que tout autre instrument un électromètre capillaire doit rester en place, rien ne lui est aussi nuisible que le transport. Pour le mettre en train il faut d'abord faire couler un peu de mercure en augmentant la pression au-dessus de la colonne et en maintenant les deux côtés du ménisque à une différence de potentiel d'environ un dixième de volt ; cela fait, en variant la pression, on promène le ménisque dans le tube pour produire une sorte de polissage des parois. Au bout d'un certain temps l'appareil est prêt à fonctionner. Il est à remarquer que si le ménisque est resté un certain temps fixe en un point du tube, il aura toujours une tendance à s'arrêter en ce point; le polissage sous différence de potentiel d'un dixième de volt fait disparaître cet inconvénient. Il faudra toujours, lorsque l'appareil ne sera pas en usage, maintenir ses deux pôles à la différence de potentiel d'un dixième de volt ; le ménisque remonte dans le tube capillaire et reste en bon

état. Dans le modèle de M. Lippmann il faut faire une petite opération pour avoir des mesures, dans celui de M. Debrun on lit directement les différences de potentiel. Chaque expérimentateur peut du reste modifier ces appareils à son idée, et, avec un peu d'adresse, on se fait soi-même d'excellents électromètres capillaires.

Chacune de ces méthodes a ses avantages et ses inconvénients dépendant de trop de facteurs pour qu'il soit possible de les indiquer tous ; je dirai seulement que dans les expériences de physiologie le type Thomson convient très bien à tous les cas ; malheureusement le montage en est coûteux et un peu délicat. L'électromètre capillaire fait par soi-même serait très bon, mais il exige de mettre toujours le côté mercure du ménisque au potentiel le plus bas, or dans beaucoup de cas on ne sait pas quel est le sens de la différence de potentiel. Le voltmètre et la méthode balistique ne peuvent servir dans la plupart des études sur l'électricité animale.

CHAPITRE IV

—

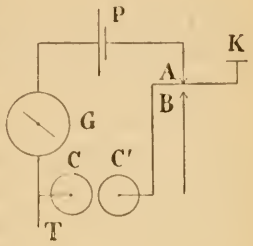
MESURE DES FORCES ÉLECTROMOTRICES DE POLARISATION, DES CAPACITÉS ET DES RÉSISTANCES

11. Mesure de forces électromotrices de polarisation. — Les méthodes précédentes ne peuvent convenir à la mesure des forces électromotrices de polarisation ; parmi les divers procédés indiqués, c'est le suivant, dû à M. Chaperon, qui donne les meilleurs résultats.

Voici comment je l'emploie pour mesurer la polarisation produite par le passage d'un courant à travers des tissus :

Deux cristallisoirs c et c' contenant de l'eau salée à 7 pour 1000 sont intercalés dans le circuit d'une pile P à l'aide de deux lames de platine qui plongent dans l'eau salée, les deux cristallisoirs sont réunis par un siphon contenant la même solution, un galvanomètre G donne l'intensité du courant. Si l'on vient à abaisser la clef K, on rompt le circuit en A et on l'établit en B ; le voltmètre CC′ fonctionne alors comme un accumulateur dont un pôle est à terre, et la différence de potentiel entre le point B et la terre donne la force électromotrice de polarisation cherchée ; il suffit de relier B à un appareil de mesure, à un Thomson par exemple, ou a un condensateur pour employer la méthode balistique. En donnant plusieurs petits coups sur K à intervalles très rapprochés, on charge à refus, l'appareil en communication avec B et pourtant aucune dépolarisation n'a pu se faire.

Fig. 4



Cette première opération terminée, on remplace le siphon par le fragment de tissus que

l'on veut étudier ; on trouve une nouvelle force électromotrice de polarisation en général plus grande que la précédente : la différence des deux est la part à attribuer aux tissus en expérience.

12. Mesure des capacités. — Il est rare qu'en électrophysiologie on ait à faire des mesures de capacité ; si cela arrivait, le plus simple serait de charger le corps à un potentiel connu et de le décharger dans un galvanomètre balistique ; on tirerait la capacité de la formule $Q = \mathcal{E}K$. Il y a d'autres méthodes que l'on trouvera dans les livres d'électricité.

13. Mesure des résistances. — Il arrive très souvent que l'on ait à connaître des résistances d'une manière plus ou moins précise ; il y a, pour y arriver, des procédés rapides et d'autres plus longs mais donnant une plus grande approximation.

La méthode la plus simple consiste à déduire la résistance des corps en expérience de la formule de Ohm. Si l'on a quelque doute sur la force électromotrice de la pile, on opère par substitution avec une boîte de résistance. Dans ces deux procédés la variation de la pile intervient. Si l'on voulait une plus grande précision

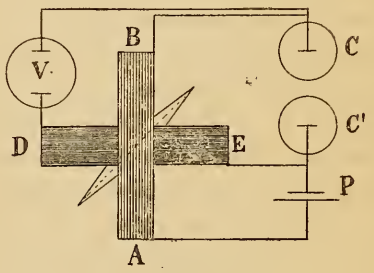
il faudrait monter un pont de Wheatstone à la condition toutefois, si l'on a affaire à des tissus, de placer du côté de la résistance à mesurer, deux cristallisoirs contenant de l'eau salée et des lames de platine ; c'est là que l'on prendra les contacts pour les tissus en faisant baigner les extrémités dans les deux cristallisoirs. Pour compenser la polarisation du platine on place dans une seconde branche du pont un vase contenant de l'eau salée traversée par un courant à l'aide de deux lames de platine. De cette façon la compensation est très suffisante ; il ne reste plus que la polarisation de l'intérieur des tissus ; on ne peut l'éviter qu'en employant des courants alternatifs.

On a recours alors à la méthode imaginée par Kohlrausch, consistant à remplacer, dans un pont de Wheatstone, la pile par une bobine de Rhumkorff et le galvanomètre par un téléphone qu'il faut amener au silence. Dans ce cas il faut éviter avec soin l'induction des diverses parties du pont les unes sur les autres, et remplacer la boîte de résistance par un rhéostat; sans cela on ne peut amener le téléphone au silence par suite de la self induction et de la capacité électrique de la boîte. Les contacts avec les liquides doivent se faire par des lames métalliques de

très grande surface et il faut avoir soin aussi de prendre un nombre d'ondes très considérable ; le trembleur des bobines ordinaires n'est pas assez rapide, il y a grand avantage à le remplacer par un diapason. A propos des boîtes de résistance je dois dire cependant que M. Chaperon est arrivé à un enroulement permettant de les employer.

Enfin, je signalerai un dispositif extrêmement commode dû en principe à MM. Ayrton et Perry et que l'on peut appliquer à la mesure des résistances des tissus, que l'on obtient par une simple lecture.

Fig. 5



Dans le circuit d'une pile P se trouve un cadre à gros fil AB et deux cristallisoirs C et C' con-

tenant de l'eau salée pour prendre les contacts. Un second cadre à fil fin perpendiculaire au précédent est mis en dérivation sur ce circuit des deux côtés des cristallisoirs, et le courant qui y passe traverse un voltamètre constitué comme C et C′ pour compenser la polarisation. Une aiguille aimantée mobile, sous l'influence des deux cadres, prend une position d'équilibre variable avec la résistance qui se trouve entre C et C′. Quand cette résistance est nulle l'aiguille est perpendiculaire à AB et en combinant convenablement l'appareil on peut lui faire prendre des déviations proportionnelles à la résistance placée entre C et C′ ; en tous cas on peut toujours établir une graduation empirique. Pour rendre les indications indépendantes de la pile, il faut pouvoir négliger l'action de la terre ; un moyen simple est de mettre l'axe de rotation de l'aiguille parallèle aux forces du couple terrestre. Cet appareil n'est pas d'une sensibilité extrême, mais il est précieux par la rapidité des indications qu'il donne.

DEUXIÈME PARTIE

PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ PAR LES TISSUS VIVANTS

CHAPITRE PREMIER

POISSONS, INSECTES ET PLANTES ÉLECTRIQUES PERSONNES ÉLECTRIQUES

14. Historique. — Le fait de percevoir des secousses au simple contact de certains poissons est connu de toute antiquité, comme cela ressort de la lecture des auteurs anciens, mais la nature du phénomène a été longtemps méconnue, et il faut arriver jusqu'à Muschenbrock pour le voir attribué pour la première fois à une cause électrique. Walsh a étudié la secousse produite par

la torpille d'une façon bien plus complète, en faisant des expériences comparatives sur le poisson et sur la bouteille de Leyde. Il montra que tout corps qui conduirait la décharge de la bouteille de Leyde conduit aussi celle de la torpille et inversement ; il fit voir aussi que c'étaient le dos et le ventre qui étaient chargés d'électricité de nom contraire et jouaient le rôle de deux armatures. A la suite de la découverte de Galvani la question prit un intérêt nouveau et beaucoup de savants se livrèrent à son étude, les uns au point de vue anatomique, les autres au point de vue physiologique et physique. Il serait difficile de les citer tous ; Gay-Lussac et de Humboldt décrivirent avec soin les circonstances dans lesquelles se produit la décharge ; John Davy fit voir qu'en la lançant dans un circuit, elle pouvait donner lieu à des manifestations électromagnétiques ou chimiques. Becquerel et Breschet ont déterminé en 1825 le sens de la décharge, depuis Faraday, Matteucci, Dubois-Reymond, A. Moreau, Marey et d'autres ont amené la question au point où elle se trouve.

15. — Matteucci cite cinq poissons comme doués de propriétés électriques ; en réalité, il y en a davantage.

Nous trouvons d'abord diverses espèces du genre *Torpedo* provenant le plus communément de la mer Méditerranée ;

Le *gymnotus electricus*, poisson d'eau douce vivant dans les rivières de l'Amérique du Sud ;

Le *malapterurus electricus*, qui se rencontre au Sénégal, dans le Nil, et quelques rivières de la côte Orientale d'Afrique.

A côté de ces poissons dont les propriétés électriques sont particulièrement remarquables, il y a encore les *raies* et les *mormyres*.

Leur étude a pris une grande importance depuis que l'on a remarqué l'analogie existant entre leur organe électrique et les muscles ; cette analogie est assez grande, tant au point de vue anatomique que physiologique, pour que l'on ait pu dire que l'organe électrique est un muscle transformé.

Cet organe est formé de deux masses gélatineuses, très volumineuses (environ $\frac{1}{4}$ du poids du corps) enveloppées chacune d'une tunique fibreuse résistante. Elles se composent de prismes serrés les uns contre les autres entre lesquels passent les vaisseaux et les nerfs. Chaque prisme est formé par la superposition de plaques ou lames électriques recevant sur un côté une terminaison nerveuse. La position de

l'organe et son orientation varient selon l'espèce ; chez le gymnotus electricus, les prismes sont longitudinaux et les plaques reçoivent la terminaison nerveuse à leur face postérieure ; chez la torpille les plaques sont horizontales et sont innervées par leur face inférieure. Au moment de la décharge chaque plaque devient négative sur la face recevant la terminaison nerveuse et positive sur l'autre ; il en est de même pour tout l'organe. Il résulte de ce que nous avons dit que, chez le gymnotus, l'extrémité céphalique est positive par rapport à l'extrémité caudale, chez la torpille c'est la face dorsale qui est positive et la face ventrale négative. A l'état inactif cet organe n'est le siège que de manifestations très faibles, plus faibles que celles des muscles.

L'organe est en relation avec des centres nerveux par des nerfs énormes, en nombre variable suivant l'espèce : un chez le malapterurus electricus, quatre chez la torpille. Le centre nerveux correspondant est un lobe dit électrique (Matteucci), placé sous les trois lobes communs à tous les poissons.

L'animal peut émettre ses décharges à volonté sans grande manifestation extérieure ; c'est à peine si l'on perçoit un léger frémissement, quelques mouvements de nageoire, il ferme en

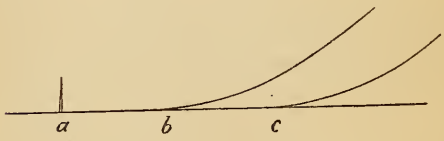
général les yeux ; il peut ainsi lancer une ou plusieurs décharges, mais si, pour une cause quelconque le nombre en devient trop abondant, il s'épuise, il lui faut alors un repos assez long pour recouvrer ses propriétés. Il semble qu'il revienne plus rapidement à son état normal lorsque l'eau dans laquelle il se trouve est bien aérée. Ce qui démontre bien que la décharge est absolument sous la dépendance de la volonté de l'animal, c'est ce fait signalé par de Humboldt d'un gymnote vigoureux se débattant énergiquement entres ses mains sans qu'il ressentît aucune manifestation électrique. D'ailleurs, si l'on vient à exciter un de ces poissons avec un corps mauvais conducteur, une baguette de verre par exemple, il ne donne guère qu'une ou deux décharges, comme s'il se rendait compte de l'impuissance dans laquelle il se trouve d'envoyer le flux électrique à travers le corps qui le touche. Matteucci a fait voir que le centre exclusif présidant à ces effets était un quatrième lobe cérébral ; par son excitation directe l'organe entre en fonction et l'excitation d'un autre point ne fait rien ; il est bien évident qu'on obtient aussi ces effets en coupant les nerfs et en agissant sur leur extrémité périphérique.

Les effets de la décharge sont ceux de toute décharge électrique ; par exemple en la lançant dans le circuit primaire d'une bobine d'induction, on peut avoir une étincelle entre les extrémités du circuit secondaire.

M. Marey a étudié d'une façon très complète ce phénomène, soit sur des torpilles non mutilées, donnant ainsi leur décharge normale, soit en la provoquant par excitation du lobe électrique ou des nerfs.

Un premier résultat intéressant est la constatation d'une durée d'excitation latente ; il se passe un intervalle d'environ $\frac{1}{60}$ à $\frac{1}{100}$ de seconde entre le moment où l'on excite le nerf d'un organe électrique et le moment où la décharge se produit. Voici comment M. Marey a disposé

Fig. 6



l'expérience : Un muscle de grenouille étant excité à un moment marqué par *a* sur un tracé graphique la contraction du muscle a commencé

au moment marqué par *b*. Dans une seconde opération, au moment *a*, excitons un nerf électrique et employons sa décharge à exciter le muscle précédent, la contraction commencera au point marqué *c*; par conséquent le temps compris entre *b* et *c* correspond évidemment à l'excitation latente de l'organe électrique.

Pour étudier le flux, M. Marey appliquait une électrode sur le ventre et une autre sur le dos d'une torpille et faisait passer la décharge dans un signal de Marcel Deprez inscrivant sur le cylindre enregistreur, ou bien dans un téléphone, si l'animal était déjà épuisé. On constate que la décharge spontanée se compose d'une série de flux d'autant moins nombreux que la torpille a déjà fonctionné depuis plus longtemps. L'intensité de chaque flux va aussi en diminuant. En prenant des tracés simultanés sur les deux organes, on voit que toutes les modifications qui se produisent sur l'un d'eux portent aussi sur l'autre. En excitant le lobe électrique on a des résultats analogues ; suivant l'intensité de cette excitation on a un nombre de vibrations variable de 10 à 160 par seconde. M. Marey a obtenu les mêmes résultats en lançant la décharge dans un téléphone, appareil bien plus sensible que le signal de Marcel Deprez. Mat-

teucci a déjà fait remarquer qu'il n'y avait aucune relation entre l'énergie de la décharge et l'énergie de l'excitation. Ces propriétés électriques se développent avant la naissance, car A. Moreau a eu l'occasion d'examiner de jeunes torpilles tirées de l'utérus d'une torpille pleine, qui étaient déjà capables de donner des décharges très sensibles. L'influence de la température est très manifeste, c'est celle de 45° qui serait la plus favorable. Gréhant a fait voir récemment que le fonctionnement d'un organe électrique est accompagné d'une production très notable d'urée dans la masse des tissus.

Certains poisons sont des plus intéressants à étudier en vue du parallèle à faire entre les propriétés de l'organe électrique et des muscles. Une torpille empoisonnée par la strychnine aurait un véritable tétanos électrique à la moindre excitation. On est moins d'accord sur l'action du curare ; d'après M. Ranvier il n'agirait pas sur les nerfs électriques de la torpille, qui se distingueraient ainsi d'une façon absolue des nerfs moteurs, mais ces résultats ont été contestés.

Signalons encore deux faits extrêmement curieux :

1° La torpille pourrait, d'après certains au-

teurs, donner des secousses dites unipolaires, c'est-à-dire qu'une torpille suspendue dans un filet tenu à la main pourrait envoyer des décharges dans le bras ; ce fait inexplicable paraît mal observé ;

2° Si l'on place dans un même aquarium des torpilles de grandeur variable et des poissons divers, aucune torpille ne parait incommodée, alors que tous les autres poissons sont foudroyés. Dubois-Reymond attribue cela à une résistance particulièrement grande des tissus de la torpille, d'autres auteurs invoquent un état spécial du système nerveux.

Dans tout ce que nous avons dit nous avons principalement eu en vue la torpille, mieux étudiée que les autres poissons. Le gymnote produit des effets qui ne diffèrent vraisemblablement de ceux de la torpille que par une intensité bien plus grande. Le Malapterurus est du même ordre que la torpille, à ce qu'il me semble d'après le peu de documents que j'ai pu avoir sur ce poisson. Quant aux raies et aux mormyres, on avait méconnu longtemps leurs propriétés électriques et les appareils qu'ils portent étaient qualifiés de pseudo-électriques. M. Robin a démontré à l'aide du galvanomètre et du téléphone que les raies sont réellement électri-

ques comme les torpilles, mais à un degré moindre. Il en est de même des mormyres (Babuchin).

16. Théorie du phénomène. Mécanisme de la décharge de la torpille. — Divers expérimentateurs se sont ingéniés à trouver une explication de ces phénomènes curieux, je vais donner les trois théories principales mises en avant.

1° *Théorie de Dubois-Reymond.* — Dubois-Reymond s'inspirant des célèbres travaux d'Ampère sur le magnétisme, admet que l'organe électrique est formé en dernière analyse de molécules bipolaires; à l'état inactif ces molécules seraient orientées en tous sens, mais sous l'influence des nerfs dirigeraient toutes leur pôle positif d'un côté, leur pôle négatif de l'autre ; il y en aurait un grand nombre dans chaque plaque qui, chargée de cette façon, positivement d'un côté, négativement de l'autre, jouerait le rôle d'un élément de pile à colonne dans les prismes.

2° *Théorie de M. Ranvier.* — Pour M. Ranvier les lames nécessaires forment de véritables condensateurs qui se chargeraient sous l'influence de fluide négatif envoyé le long du cy-

lindre-axe par les cellules nerveuses du lobe électrique, la seconde armature se chargeant par influence.

3° *Théorie de M. d'Arsonval.* — M. d'Arsonval a tiré une explication des phénomènes électro-capillaires étudiés par M. Lippman. On sait que lorsqu'un ménisque de mercure se trouve au contact d'une solution de chlorure de sodium par exemple, toute déformation mécanique du ménisque donne lieu à une différence de potentiel entre le mercure et l'eau salée ; plusieurs expériences de M. Lippmann ont établi ce fait. M. d'Arsonval a émis l'hypothèse que c'était à une déformation de la surface des lames qu'il fallait attribuer les décharges de la torpille.

Je vais présenter d'une façon impartiale les diverses objections que l'on peut faire à chacune de ces théories.

Comme le fait très bien remarquer M. Ranvier, la théorie de Dubois-Reymond ne repose sur aucun fait, c'est une hypothèse absolument gratuite et qui fait supposer une connaissance très imparfaite de l'anatomie miscroscopique de l'organe électrique.

M. Ranvier invoque pour justifier sa théorie des raisons anatomiques et physiologiques.

Je ne puis ici décrire dans ses détails l'organe de la torpille. On trouve effectivement dans chaque lame les éléments d'un condensateur, mais peut-on admettre que la couche intermédiaire soit assez isolante pour jouer le rôle du verre de la bouteille de Leyde ? M. Ranvier s'appuie sur deux faits pour ne pas croire à la genèse de la décharge dans l'organe lui-même. « D'abord, dit-il, l'organe est très pauvre en vaisseaux et ne peut donc trouver grande énergie à dépenser en lui-même ». Ce premier argument n'est pas concluant, car l'énergie dépensée par la décharge d'une torpille est minime par rapport au travail que peuvent produire les muscles, et du reste on pourrait tirer de la pauvreté en vaisseaux un argument inverse, en disant qu'elle explique la rapidité avec laquelle l'organe s'affaiblit.

En second lieu, les décharges que l'on peut obtenir en excitant le bout périphérique du nerf coupé, sont toujours très faibles, donc le flux électrique doit venir par le bout central, c'est-à-dire du lobe électrique. Cela n'est rien moins que certain, car nous avons vu que la torpille s'épuisait assez rapidement ; or la préparation nécessaire à cette expérience ne se fait pas sans décharges ; il y aurait lieu de vérifier par des

expériences comparatives si une torpille ayant subi des mutilations analogues sauf la section des nerfs, est encore capable de donner de fortes décharges.

La théorie tirée des expériences de M. Lippmann est la plus séduisante ; on peut toutefois y faire certaines objections. A des déformations contraires devraient correspondre des flux de sens contraire, par conséquent l'organe de la torpille revenant à son état primitif après la décharge, une première décharge allant du dos au ventre devrait toujours être suivie d'une décharge allant du ventre au dos ; or, je n'ai jamais vu signaler ce fait par aucun auteur ; toujours le dos a été trouvé positif par rapport au ventre.

INSECTES ET PLANTES ÉLECTRIQUES

17. — On a cité certains insectes, comme le *Reduvius serratus* donnant des secousses électriques ; des scarabés de la famille des Elatériens et quelques chenilles de l'Amérique du Sud, jouiraient de la même propriété ; mais ces faits démontrés d'une façon insuffisante méritent une

étude plus complète. Burdon Sanderson a aussi observé des manifestations de ce genre sur une plante, le *Dionæa muscipula* et a voulu les comparer à celles que l'on observe chez les animaux : mais d'autres observateurs, Munk et Rosenthal l'ont contredit. Le premier a expérimenté sur le *Dionæa muscipula*, le second sur le *Mimosa pudica* et ils ont attribué les courants observés à des déplacements de sève.

Tous ces phénomènes sont jusqu'ici peu intéressants.

PERSONNES ÉLECTRIQUES

18. — La peau de certaines personnes devient parfois le siège de manifestations électriques assez importantes pour donner lieu à des étincelles lorsque l'on vient à promener les doigts à sa surface. J'ai eu l'occasion d'observer une de ces personnes et j'ai pu m'assurer qu'elle et ses vêtements se chargeaient de sens contraire et que l'ensemble s'annulait sensiblement. Il faut attribuer ces faits aux frottements de la peau et les rapprocher de ceux que l'on observe quand on vient à passer à rebrousse poil la main sèche sur le dos d'un chat.

CHAPITRE II

—

ÉLECTRICITÉ PRODUITE PAR TOUS LES ANIMAUX

19. — Les manifestations électriques dont nous avons parlé plus haut, sont, par suite de leur intensité, très faciles à mettre en évidence ; il n'y a aucun désaccord sur les faits en eux-mêmes, aussi avons nous passé très rapidement en général sur les moyens employés pour les constater. Il n'en est plus de même pour les phénomènes que nous allons étudier maintenant ; ils sont, par rapport à ceux que présente la torpille, très faibles et extrêmement fugaces, aussi le ma-

nuel opératoire et les appareils employés ont-ils une importance capitale ; on peut même affirmer que c'est au manque d'unité dans les méthodes, au défaut de comparabilité des expériences des divers physiologistes qu'il faut attribuer en grande partie le désaccord qui règne et les discussions aigres qui en ont été la conséquence.

Faisons d'abord un historique aussi rapide que possible de la question.

20. — Galvani peut être considéré comme l'auteur de la découverte de l'électricité animale ; avant lui, Swammerdam avait fait une expérience presque identique à celle de Galvani, trop connue pour être décrite, mais il n'en avait absolument rien tiré et elle était tombée dans l'oubli complet.

A la suite de ses expériences qui durèrent de longues années, Galvani admit l'existence de deux électricités dans le muscle, le nerf servant à la décharge. Il s'en suivit une lutte acharnée avec Volta, qui amena la découverte d'un grand nombre de faits physiologiques. Entre autres et pour répondre à l'objection de Volta qui voulait absolument placer l'origine de tout le phénomène au contact des métaux, Galvani fit voir que la contraction de la patte galvanoscopique se produit

lorsque l'on vient à toucher directement la face externe du muscle avec l'extrémité coupée du nerf qui l'innerve, ou bien lorsque l'on met en communication deux points du nerf par un fragment pris dans un autre muscle.

Fig. 7

Il est impossible de citer tous les physiologistes qui prirent part à la lutte. A. de Humboldt fut, à la fin du siècle dernier, un de ceux qui s'en occupèrent le plus. On étudia surtout l'influence des courants de pile sur la contraction musculaire ; il faut citer à ce sujet l'observation de Volta d'après laquelle un muscle excité pendant un certain temps par des courants de même sens ne réagit plus à cette excitation, mais recouvre ses propriétés quand on renverse le sens du courant (alternatives voltiaines). Lehot fit voir qu'en agissant sur le nerf, la contraction se produit à la fermeture pour le courant descendant et à l'ouverture pour le courant ascendant ; ce fait n'est pas absolument exact. En 1827, Nobili ayant imaginé son galvanomètre put, à l'aide de cet appareil, constater l'existence de courants dans la grenouille ; il vit qu'elle était parcourue par un

courant allant des pieds à la tête dans le circuit extérieur ; ce courant est dit courant propre de la grenouille.

On constata aussi l'existence de courants dans les muscles et les nerfs ; enfin Dubois-Reymond distingua les courants de repos se produisant dans les muscles et les nerfs à l'état inactif de courants analogues à la décharge de la torpille, dits oscillation négative, oscillation qui se produit au moment de la contraction.

21. Instruments à employer. — L'exploration électrique des tissus vivants peut à la rigueur se faire avec un bon galvanomètre, mais il en résulte un inconvénient ; on aura toujours dans le circuit des portions de tissus qui interviendront par leur résistance sur laquelle on sera en général fort mal renseigné ; il sera donc très difficile, d'après les mesures d'intensité de courant, de conclure à la répartition des potentiels et c'est pourtant à cette connaissance qu'il faut viser. Pour faire ces mesures de potentiel il est très mauvais, comme l'ont fait certains auteurs, de recourir à la méthode des compensations, car on lance dans le circuit des courants qui modifient les tissus. L'électromètre est l'instrument de choix, c'est le seul donnant des ré-

sultats nets. Il est indispensable d'éviter l'introduction dans le circuit de toute force électromotrice étrangère aux tissus soumis à l'expérience ; ainsi on ne peut les toucher avec des fils métalliques, d'où la nécessité d'électrodes spéciales dites impolarisables que nous allons décrire, et dont l'emploi est si nécessaire que toute observation faite autrement ne mérite même pas la lecture.

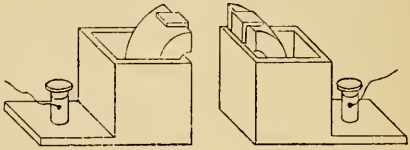
22. Electrodes impolarisables. — Le seul corps conducteur que l'on puisse mettre au contact des tissus sans les altérer et sans donner lieu à une force électromotrice, est la solution de chlorure de sodium à sept pour mille. Il s'agit alors de prendre le contact dans cette solution sans introduire de nouvelle force électromotrice. Voici les deux dispositifs les plus employés par les physiologistes.

Les extrémités des fils venant de l'appareil de mesure sont fixées à deux petites auges en zinc pur ; celles-ci contiennent une solution de chlorure de zinc dans laquelle plongent un certain nombre de morceaux de papier à filtre réunies de façon à former une petite masse.

Si l'appareil est bien monté, en rapprochant les deux cuves et en faisant toucher les deux mas-

ses de papier imbibées de chlorure de zinc on ne

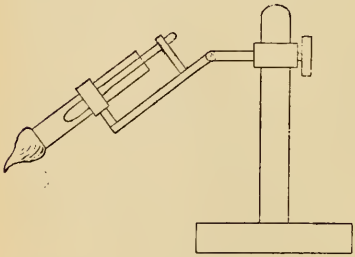
Fig. 8



doit pas constater de courant. Sur le papier on met deux lames de terre poreuse coudées et imbibées de la solution de sel marin ; c'est au contact de ces lames que l'on place les tissus à étudier.

Dans un grand nombre de cas, par exemple si l'on veut opérer sur des nerfs en place, le point à toucher est trop précis pour que l'on puisse employer cette forme d'électrodes ; on se sert alors du type (2). La solution de chlorure de zinc est placée dans un tube en verre contenant aussi

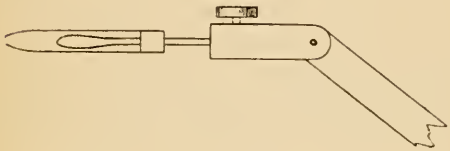
Fig. 9



un bâton de zinc pur servant d'électrode. La partie inférieure du tube est bouchée par un tampon de terre glaise pétrie avec la solution de chlorure de sodium et qui, roulée entre le pouce et l'index, peut être moulée en pointe ou suivant la forme que l'on désire.

Les électrodes proposées par M. d'Arsonval donnent de très bons résultats lorsqu'elles sont disposées avec soin : la solution salée est placée

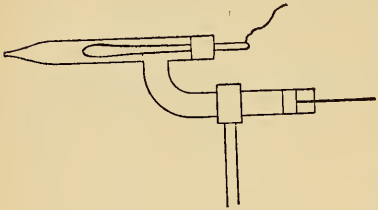
Fig. 10



dans un petit tube étiré, un bâton d'argent enduit de chlorure d'argent trempe dans la solution et est fixé au tube à l'aide d'un bouchon, le tout est relié à un support comme l'indique la *fig.* 9. Cette disposition a un inconvénient auquel chaque expérimentateur remédie facilement ; l'électrode une fois en place, il arrive souvent qu'une petite goutte de liquide s'écoule et qu'une bulle d'air coupe la communication dans la portion

rétrécie, pour la faire partir il faut pousser le bouchon, ce qui dérange la mise en place. Une disposition qui évite bien des pertes de temps au moment où l'expérience est montée, consiste à attacher le bâton d'argent directement au fil allant à l'appareil de mesure et à faire sur le tube en verre un branchement pouvant contenir du liquide et muni d'un petit piston permettant de chasser la moindre bulle d'air dans la portion effilée sans rien changer à la mise en place. Il est bon de faire ses électrodes soi-même ; chaque paire devra être prise dans un même fil d'argent qu'on enduira à chaud de chlorure. Ce chlorure ne devra pas être acheté dans le commerce, celui qu'on y trouve, provenant souvent des cuves à photographie et contenant des impuretés. En se donnant la peine de le faire soi-même avec du chorure de sodium pur et du nitrate d'argent pur, on obtiendra des électrodes qui ne donneront qu'une différence de potentiel insignifiante. Il

Fig. 11



faut avoir soin, lorsque les électrodes ne sont pas en usage, de les fermer sur elles-mêmes en court circuit et il est bon de les tenir à l'obscurité. Par excès de précaution j'emploie généralement des tubes en verre rouhe, mais n'ayant pas fait d'expériences comparatives, je ne puis dire s'il y a réellement avantage.

23 Manifestations électriques dites de repos. — Si l'on prend un fragment de tissu vivant, fraîchement extrait d'un animal, et qu'on le place sur des électrodes impolarisables reliées à un galvanomètre, on constate presque toujours l'existence d'un courant, mais dans un grand nombre de cas il est impossible de reconnaître une loi quelconque dans la grandeur et la direction de ce courant suivant les divers points auxquels on applique les électrodes. Ce n'est guère que dans le cas des muscles striés et des nerfs que cette détermination a pu être bien faite, et encore verrons-nous que la question est loin d'être complètement résolue.

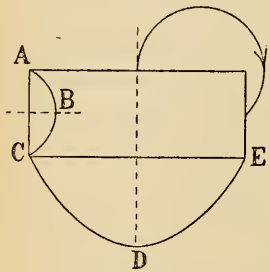
Voici d'abord les résultats adoptés par tous les physiologistes :

Si l'on prend un fragment cylindrique de muscle, l'axe étant parallèle et les bases normales aux fibres du muscle, on constate, en ap-

pliquant une électrode sur la face latérale et une autre sur la base, l'existence d'un courant traversant le galvanomètre de la première à la seconde électrode. La face latérale du prisme musculaire est donc positive par rapport à la section transversale. Pour étudier plus complètement cette distribution électrique, il faut faire des déterminations de potentiel à l'aide d'un électromètre. Dans cette expérience, il est de la plus haute importance de vérifier que les électrodes n'ont qu'une force électromotrice propre, extrêmement faible et de la déterminer, afin d'en tenir compte dans les résultats obtenus.

On constate ainsi que les points de potentiel le plus bas se trouvent au milieu de chacune des deux bases, ceux de potentiel le plus élevé à égale distance de ces deux bases ; la répartition entre ces deux points se fait suivant une loi représentée sur la figure par les courbes ABC, CDE. Il est facile d'en conclure les différentes positions des électrodes qui donneront naissance à un cou-

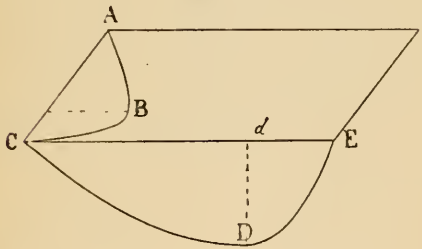
Fig. 12



rant ; il suffira qu'elles soient inégalement distantes du point D, et le courant ira, dans le galvanomètre, du point le plus rapproché de D au point le plus éloigné ; il ne sera pas possible, même en supposant la courbe tracée d'une façon parfaite et identique pour tous les prismes musculaires, de déterminer d'avance l'intensité du courant, car la résistance du muscle intervient et l'on est très mal renseigné sur sa valeur.

Si le cylindre, au lieu d'être terminé par des sections droites est oblique, la distribution des potentiels change, l'ordonnée maxima est dé-

Fig. 13



placée vers l'angle le plus obtus, l'ordonnée minima vers l'angle le plus aigu, les courants sont modifiés considérablement ; ainsi en plaçant une électrode en D et une autre au milieu de CE, on a

un courant de sens inverse de celui qu'on aurait eu dans le cas de prisme droit.

Les muscles sur lesquels on opère n'ont pas, en général, une forme régulière quand ils sont intacts ; ainsi considérons le gastro-cnémien de la grenouille, sur lequel se font la plupart des expériences d'électrophysiologie, il a une forme analogue à celle représentée ci-contre. Non seulement sa forme s'éloigne beaucoup du prisme, mais encore sa structure n'est pas homogène par suite de la présence d'un tendon inférieur et d'un tendon supérieur. Le tendon inférieur dit « tendon d'Achille » se continue par une membrane donnant insertion aux fibres musculaires sur les deux tiers inférieurs du muscle environ. Le tendon supérieur donne insertion aux fibres musculaires sur les deux côtés. Sur un pareil muscle la répartition des potentiels est bien moins simple que sur le prisme, mais la surface latérale est toujours positive par rapport à une section transverse. Ces résultats sont admis en général, que la surface latérale et les sections soient naturelles comme dans un muscle entier ou faites artificiellement à l'aide d'un couteau. Ainsi le ten-

Fig. 14

don sur lequel viennent s'insérer les fibres, peut être considéré comme faisant partie d'une section transverse ; aussi est-il généralement négatif par rapport à la surface latérale du muscle. Il arrive cependant que voulant faire cette expérience, on ne parvienne à mettre en évidence que des courants extrêmement faibles allant dans le circuit extérieur de la surface latérale au tendon ; parfois même il y a absence de courant ou renversement du sens ordinaire de propagation. Pour faire reparaître les phénomènes cités plus haut, il suffit de couper une tranche de deux ou trois millimètres d'épaisseur, enlevant le tendon et mettant à nu la terminaison des fibres musculaires. Ce fait a beaucoup contribué à faire émettre par divers physiologistes, l'hypothèse que le muscle n'est le siège de courants que par suite des lésions qu'on lui a fait subir ; nous reviendrons là-dessus plus loin.

24. — Si, au lieu de prendre un muscle, on opère sur un nerf, on trouve une distribution de potentiel analogue à celle du prisme musculaire

Fig. 15

droit ; le potentiel est maximum au milieu du nerf, de là il va en décroissant jusqu'aux extrémités. Les sections des nerfs sont en général trop petites pour qu'on puisse y étudier la répartition des potentiels ; il nous suffira de savoir que cette section est négative par rapport à un point quelconque de la surface latérale.

La différence de potentiel est d'environ :

Sur les muscles : 0,035 à 0,075 volts ;
Sur les nerfs : 0,022 à 0,026 //

25. — Nous n'avons jusqu'ici parlé que des muscles striés ; les muscles lisses produisent des effets analogues ; on peut en dire autant des glandes, surtout celles en tube dont le fond serait positif par rapport à l'ouverture. Mais dans tous ces cas le sens et l'intensité des courants paraissent très variables ; d'ailleurs il est fort rare qu'un tissu animal ou végétal, la carotte ou la pomme de terre par exemple, ne donne pas lieu à des différences de potentiel lorsqu'on le place entre les électrodes impolarisables, sans que l'on sache pourquoi. S'il y a lieu d'insister spécialement sur les muscles et les nerfs, cela tient à la régularité parfaite du phénomène, soit à l'état de repos des organes, soit à l'état actif comme nous le verrons plus loin. Le curare augmente les cou-

rants musculaires, peut être par suite de l'activité plus grande de la circulation, il n'abolit pas le courant nerveux. Une élévation de température est aussi favorable ; d'après Hermann, lorsque la température n'est pas uniforme, un point plus chaud est positif, par rapport à un point plus froid, mais ce phénomène ne se produit que sur la surface latérale du muscle.

M. Mendelsohn a signalé aussi un courant nerveux dirigé toujours dans le sens de propagation utile de l'excitation nerveuse, c'est-à-dire centrifuge sur les nerfs moteurs, centripète sur les nerfs sensitifs, ces courants seraient extrêmement faibles.

26. Manifestations à l'état actif. — Nous venons de voir ce qui se passe sur un muscle ou sur un nerf détaché d'un animal et se trouvant à l'état de repos ; si par un procédé quelconque on vient à faire passer ces organes à l'état actif, on observe des modifications dans leur état électrique.

Prenons un muscle, par exemple, et à l'aide d'un galvanomètre constatons qu'il y a un courant allant dans le circuit externe de la surface latérale à la section droite. Provoquons la contraction de ce muscle : nous verrons l'intensité

du courant diminuer, et l'aiguille revenir plus ou moins vers le zéro, suivant l'énergie de la contraction ; c'est ce que Dubois-Reymond a appelé l'oscillation négative.

La nature de l'excitation n'influe pas sur le phénomène, il se produit, que le nerf soit excité électriquement, chimiquement, mécaniquement ou d'une autre façon. L'oscillation négative n'est pas liée au changement de forme du muscle, car elle se produit aussi bien sinon mieux lorsqu'en fixant solidement les extrémités on empêche le muscle de se raccourcir, ou si on l'emprisonne dans une masse de plâtre qui durcit et ne permet alors aucun changement de forme.

L'oscillation négative peut se mettre en évidence sur les nerfs comme sur les muscles. Aussitôt que l'on excite le nerf on voit apparaître l'oscillation négative ; il y a de plus un phénomène assez remarquable, quand on excite un point d'un nerf, l'oscillation négative se propage dans les deux sens. Si l'on admet qu'il y a une relation absolue entre l'état d'activité d'un nerf et l'oscillation négative, on peut en conclure qu'un nerf donné est conducteur de l'influx nerveux dans les deux sens. Nous ajouterons qu'on a signalé le fait pour les courants glandulaires.

27. — Dans le cas où l'on tétanise un muscle ou dans celui où l'on excite un nerf d'une façon continue, les expériences sont faciles à faire ; il suffit de constater que l'aiguille du galvanomètre revient vers le zéro ; mais si l'on a affaire à de simples secousses musculaires, il n'en est plus de même par suite de l'inertie de l'équipage mobile.

Le fait est aisément mis en évidence à l'aide d'une patte galvanoscopique ; voici comment on dispose l'expérience. Deux pattes sont préparées en isolant le sciatique sur la plus grande longueur possible et en enlevant le fémur et les muscles de la cuisse ; on disposera un des nerfs sur le gastrocnémien de l'autre patte en le faisant toucher par deux points. Lorsque l'on excitera

Fig. 16

le second nerf d'une façon quelconque, en le pinçant par exemple, le second muscle donnera une secousse, par suite de la variation négative, le premier nerf sera excité et la patte correspondante se contractera ; cette patte donnera une se-

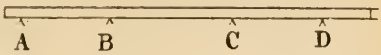
cousse. En employant l'électromètre de Lippmann dont les déplacements sont extrêmement rapides, M. Marey a pu enregistrer par la photographie les oscillations produites à chaque contraction du cœur de la grenouille, en plaçant une électrode à la pointe et une autre à la base.

Il se pose encore un problème très important au point de vue de la théorie de la contraction musculaire : Quel est le moment précis auquel se produit la variation négative ? On a déjà vu pour la torpille, et on verra plus loin pour le muscle, que l'excitation n'est suivie de l'effet qu'au bout d'un certain temps, temps perdu de Helmholtz ; de plus quand on excite un muscle en un point, tout l'organe ne se contracte pas à la fois, mais il est parcouru par une onde (Aeby) mettant un certain temps à se propager. Bernstein a fait des recherches du même genre à propos de l'oscillation négative, à l'aide d'une méthode due à Guillemin. Voici la description sommaire de l'appareil dont il s'est servi :

Un disque, tournant avec rapidité, porte sur sa circonférence deux dents pouvant fermer chacune un circuit en passant sur des contacts. L'un des circuits, en se fermant, produit une excitation d'un nerf, par exemple en AB. Le second contact ferme le circuit d'un galvanomètre

dont les bornes communiquent avec deux électrodes exploratrices placées en CD. Si les deux contacts très courts se font en même temps, le galvanomètre ne décèle pas d'oscillation négative, mais en déplaçant l'un d'eux on peut établir un retard plus ou moins grand, et de là, la vitesse de rotation du disque et autres données de l'appareil déduire le temps qu'il a fallu à la variation négative pour se propager jusqu'en CD. On peut même déterminer ainsi sa forme. Il est évident qu'en mettant C et D sur le muscle au lieu du nerf on étudiera sa variation négative. Bernstein a trouvé ainsi aux erreurs d'expérience près, erreurs inévitables dans une méthode aussi délicate, que :

Fig. 17



1° L'oscillation négative apparaît dans le muscle avant sa contraction, instantanément pour ainsi dire ;

2° Elle se propage dans le muscle avec la même vitesse que l'onde musculaire de Aeby ;

3° Elle se propage dans le nerf avec la même vitesse que l'influx nerveux.

La première de ces propositions a été combattue récemment par Burdon-Sanderson ; ses ex-

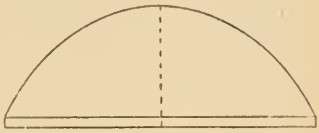
périences ont été faites à l'aide de l'électromètre capillaire. Grâce à un dispositif spécial, ce physiologiste photographiait sur une même plaque animée d'une certaine vitesse de translation, le moment d'une excitation de commencement de la contraction musculaire et la colonne de mercure de l'électromètre ; il trouva que la contraction musculaire commençait exactement en même temps que le déplacement du mercure, en conclut que la variation négative ne se produit pas pendant le temps perdu de Helmholtz, mais qu'il accompagne la variation de forme. Cela est exact, à la condition toutefois que les indications de l'électromètre de Burdon-Sanderson aient été instantanées.

En terminant, nous citerons le fait de la variation positive signalée pour la première fois par Meissner et consistant en ce fait que le courant musculaire de repos augmente d'intensité lorsque l'on vient à allonger mécaniquement le muscle.

28. — Que se passe-t-il sur le vivant et dans les organes non lésés ? — Il se pose maintenant une question de la plus haute importance. Les phénomènes électriques que nous venons d'étudier sont-ils la conséquence de la pré-

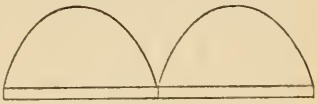
paration que l'on a fait subir aux organes en expérience, ou existent-ils pendant la vie normale? Il faut immédiatement remarquer qu'un effet certain de la préparation est de modifier la répartition des potentiels, car, prenons par exemple un nerf A nous aurons, d'après ce que nous savons, une courbe de potentiels représentée sur la *fig.* 18; si nous faisons une section au milieu, nous aurons deux tronçons de nerf B et C et la courbe des potentiels aura changé comme on le voit, sur la *fig.* 19, puisque sur chaque fragment B, C on devra avoir une courbe analogue à A.

Fig. 18



A

Fig. 19

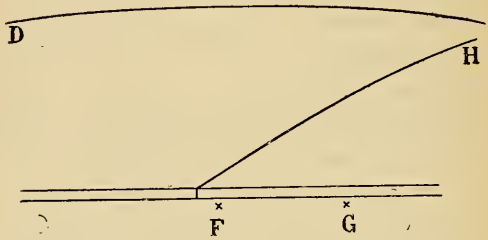


B C

Supposons que l'on ait un nerf assez long; sur un espace déterminé on pourrait avoir des différences de potentiel très faibles D (*fig.* 20), et, en appliquant des électrodes en deux points F, G, on n'aurait que des courants insignifiants; mais

une section du nerf au voisinage de F pourrait

Fig. 20



donner la courbe H et aussitôt on aurait un courant. Est-ce là l'explication de ce phénomène, une section dans un nerf produit-elle un effet analogue à la brisure d'un aimant rectiligne très long, brisure qui met en évidence deux pôles ? Ou bien les manifestations électriques sont-elles créées de toutes pièces par la lésion des nerfs et des muscles? Voici, je crois, comment la question doit être posée.

La dernière hypothèse est vivement soutenue par des physiologistes de la plus grande valeur et un des arguments fondamentaux est la faiblesse des courants constatés sur les organes intacts, il y a aussi ce fait, signalé plus haut, de tendons légèrement positifs par rapport au ven-

tre du muscle (Parelectronomie de Dubois-Reymond). Ces arguments n'ont pas la valeur qu'on a voulu leur attribuer puisque nous avons vu les modifications qu'une section doit apporter logiquement. On a aussi remarqué qu'après une section faite dans un muscle, le courant, allant de la surface latérale à la section, faiblit au bout d'un certain temps, et il faut pour le faire reparaître, faire une nouvelle section, et cela plusieurs fois de suite ; la section et l'exposition à l'air d'éléments nouveaux produisent-elles la différence de potentiel ?

29. Que devient l'oscillation négative sur le muscle entier? — Pour l'observer on applique une électrode au milieu d'un muscle, une autre à l'extrémité, il se manifeste un courant très faible ; produisant alors une excitation unique du nerf moteur on étudie l'oscillation négative à l'aide de la méthode de Guillemin et l'on constate d'après Mayer un premier courant dit courant atterminal, puis un second plus faible de sens inverse dit courant abterminal. Le premier est dû à ce que le milieu du muscle d'abord excité est devenu négatif du fait de cette excitation puis cet état négatif s'est propagé jusqu'à l'extrémité du muscle ; le transport de cet

état négatif a reçu le nom d'ordre de négativité.

Si maintenant on tétanise le muscle, on n'observe plus que le courant atterminal, soit que le courant abterminal n'existe pas du tout, soit qu'il disparaisse simplement, relativement au premier. On a expliqué la faiblesse du courant abterminal dans l'excitation unique ou répétée par ce fait que l'excitation irait en diminuant du milieu du muscle à l'extrémité ; elle subirait ce que l'on a appelé un décrément. Cette théorie défendue par Hermann, ne péche que par un point, c'est qu'il n'est nullement démontré que l'excitation d'un muscle ne se produise que par le milieu des fibres et se propage par elles jusqu'aux extrémités. Hermann opéra aussi sur l'homme : il choisit pour cela des muscles de l'avant-bras en attachant des électrodes au poignet et à la partie moyenne de l'avant-bras. Il constata dans la secousse unique deux courants égaux inverses, et il expliqua l'absence du décrément par l'état physiologique parfait des muscles en expérience, il n'y a de perte dans la propagation de l'excitation le long de la fibre musculaire que sur les organes altérés. En produisant le tétanos, Hermann ne constate aucun courant, conséquence forcée de l'égalité de

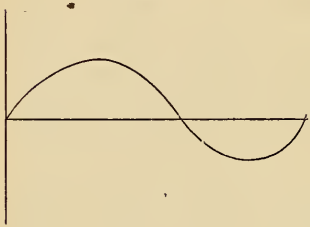
la phase atterminale et abterminale. Hermann conclut de ses expériences que les courants dits de repos, sont dûs à des lésions qui ont par excitation rendu certains points négatifs par rapport à d'autres points.

30. — Dubois-Reymond a cherché à mettre l'oscillation négative en évidence directement sur l'homme sous l'influence de la contraction volontaire ; voici comment on opère pour faire cette expérience : On plonge les mains dans deux cristallisoirs contenant de l'eau salée et en communication par des électrodes impolarisables avec un galvanomètre, on observe en général ainsi une déviation très légère ; si alors on vient à contracter les muscles d'un bras, on constate une modification dans la déviation indiquant un courant allant de la main à l'épaule dans le bras contracté. Les effets sont très faibles et les adversaires de l'existence des différences de potentiel à l'état normal les mettent sur le compte de modifications dans l'état de la peau. Cet état de la peau joue un rôle très important dans l'étude de ces phénomènes, car il influe sur toutes les manifestations électriques observées en dehors de l'animal. Ainsi le courant propre de la grenouille remarqué par Nobili est-il, comme le pense Du-

bois-Reymond, la résultante de tous les courants musculaires et nerveux, ou faut-il comme Hermann l'attribuer aux sécrétions de la peau ?

Engelmann, opérant sur le cœur de la grenouille, a constaté qu'il ne donne pas de courant au repos, à moins qu'il n'y ait une lésion récente. L'oscillation négative étudiée par la méthode de Guillemin donne une phase atterminale et une phase abterminale. L'électrode la plus rapprochée du point excité devient d'abord négative, puis le courant diminue et change de sens, la seconde électrode devenant négative à son tour.

Fig. 21



Un fait très important est que la grandeur de l'oscillation négative ne dépend nullement de la grandeur de l'excitation ; elle est nulle ou maxima, et ne dépend que de l'état du cœur.

31. — Schiff qui s'est beaucoup occupé de cette question, arrive à conclure qu'à l'état normal le courant de repos est insignifiant, que l'oscillation négative ne se produit que sur les nerfs coupés

et que dans les conditions où elle se produit, un nerf intact sur l'animal ne donne qu'un très léger courant centripète, quel que soit le nerf auquel on ait affaire, quels que soient le point excité et la nature de l'excitation.

Pour rechercher si le courant qui se produit de la surface latérale d'un nerf à la section transverse, provient de l'opération et de l'exposition à l'air, Schiff coupa le sciatique sur un chien, puis au bout d'un temps assez long, lorsqu'il se fut formé une cicatrice terminale, il fit l'exploration électrique du nerf. Il ne constata aucun courant en appliquant une électrode sur la surface latérale du nerf et une autre sur la partie terminale, mais une section suffit pour le faire apparaître. Est-ce le fait de l'exposition à l'air d'éléments nouveaux ?

32. — En somme, toutes ces expériences s'expliqueraient assez bien d'après les remarques faites plus haut, en admettant que la surface d'un muscle ou d'un nerf est positive par rapport à l'intérieur ; des éléments exposés un certain temps à l'air finiraient par prendre les propriétés de la surface naturelle du muscle.

Voici des expériences qui semblent démontrer qu'il en est ainsi pour le muscle.

Prenons une grenouille curarisée et attaçhons-la sur une plaque de liège fixée au fond d'un cristallisoir où nous verserons de l'eau salée à 7 pour 1,000 jusqu'à couvrir complètement la grenouille. Un bâton d'argent enduit de chlorure de sodium trempe dans la solution et communique avec le pôle inférieur de l'électromètre de Lippmann. A l'autre pôle est reliée une électrode de même nature que la première, renfermée dans un tube de verre dont l'extrémité est étirée au calibre d'une aiguille fine et aiguisée en biseau de façon à être très piquante. En promenant cette électrode dans le cristallisoir on n'observe aucune différence de potentiel entre les autres points du liquide ; on pique alors la pointe sous la peau de la patte et aussitôt on constate une variation de potentiel de $\frac{1}{20}$ de volt environ. On coupe aussi rapidement que possible les deux cuissses et on enlève la peau comme deux doigts de gant ; en on coiffant une électrode ne différant de la précédente que par la forme obtuse du tube de verre, on a la même différence de potentiel que dans le cas précédent ; on peut d'ailleurs vérifier qu'en retournant la peau le sens de la différence de potentiel change seul, on peut ainsi mettre les deux peaux superposées en série ou en opposition, les

différences de potentiel s'ajoutent ou se retranchent. Il semble évident que la différence de potentiel observée existait déjà à l'état normal, sans cela une simple piqûre de la peau produirait le même effet que le fait de l'enlever complètement. Mais il faut continuer la première expérience ; si après avoir piqué sous la peau et constaté une baisse de potentiel de $\frac{1}{20}$ de volt, on pique dans l'épaisseur du muscle, on a une nouvelle variation à peu près égale à la précédente, il n'y a d'ailleurs pas de différence sensible entre les divers points du muscle. Ici on ne peut attribuer les effets observés à l'air, il paraît difficile de les mettre sur le compte de la petite piqûre qui a été faite.

Si on admet sur le vivant les courants de repos, l'oscillation négative n'offre plus de difficulté.

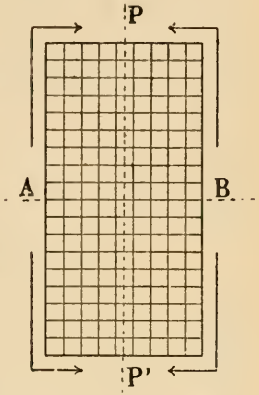
33. — Récemment en Autriche et en Russie ont paru des travaux sur la production de phénomènes analogues à l'oscillation négative dans la moëlle épinière, dans le bulbe et jusque dans le cerveau. Beck de Cracoire annonce qu'en appliquant des électrodes impolarisables à la surface du cerveau, on constate des oscillations électriques qu'il met sur le compte de l'activité conti-

nuelle de la substance grise ; en provoquant certaines excitations dissymétriques, par exemple en éclairant un œil seulement, ou en envoyant des vapeurs irritantes dans une narine, le point autour duquel se feraient les oscillations se déplacerait. Ces expériences sont encore bien vagues, et lorsqu'on songe aux difficultés qu'elles présentent, il semble qu'elles doivent encore être répétées souvent et sérieusement contrôlées pour être admises.

34. Théories de l'électricité animale. — Dubois-Reymond a donné une théorie des phénomènes que nous venons d'étudier, elle est du même genre que celle qu'il a imaginée au sujet de la torpille et n'avance nullement la question ; cependant il est indispensable de la citer par suite du crédit qu'elle a auprès d'un certain nombre de physiologistes et de la situation scientifique de son auteur. Pour l'organe de la torpille nous avions des molécules bipolaires, dans le muscle elles seraient péripolaires, chacune d'elles aurait deux pôles négatifs et un équateur positif. La juxtaposition d'un grand nombre de pareilles molécules, l'axe polaire étant orienté dans le sens de la fibre musculaire donnerait un prisme figuré ci-contre dont toute

la surface latérale serait également positive et les bases également négatives. Supposons maintenant le prisme recouvert d'un enduit plus ou moins conducteur, il s'établira des courants allant de l'équateur AB aux pôles P et P', la distribution des potentiels dans cette couche superficielle sera changée et analogue à celle que donne l'expérience. On arrive de même à expliquer plus ou moins la distribution sur un cylindre à bases obliques.

Fig. 22



Quant à l'oscillation négative, les partisans de cette théorie se contentent de dire qu'au moment de la contraction il y a une rotation des particules les plus fines des éléments et par suite un changement dans la distribution des potentiels à la surface.

On peut faire beaucoup d'objections à cette théorie qui ne repose que sur des hypothèses; il suffira de faire remarquer ici qu'elle est en op-

position absolue avec l'oscillation positive de Meissner au moment de l'allongement.

35. M. d'Arsonval explique l'oscillation négative par une action électrocapillaire. Cette théorie est beaucoup plus satisfaisante, elle s'accorde avec l'oscillation positive et a au moins le mérite de ne pas exiger des phénomènes absolument inverses lorsque l'on passe de l'organe de la torpille au muscle, dont l'analogie paraît de jour en jour plus grande.

Fig. 23

M. d'Arsonval a construit des muscles artificiels avec lesquels on peut reproduire un certain nombre de faits observés sur les muscles vivants. Voici comment on peut facilement en faire de très longs.

On prend un tube de caoutchouc aussi mince que possible et, à l'aide d'une tige, on y enfonce des bouts de jonc d'environ un centimètre de long ; chacun d'eux est assujetti à l'aide d'une forte ligature de fil de fer. Dans chaque intervalle on injecte, avec une seringue de Pravaz, moitié mercure et moitié eau acidulée ou eau salée et on bouche la petite piqûre avec de la gutta-percha.

Le muscle ainsi constitué permet de reproduire l'oscillation négative et l'oscillation positive ; on peut même, paraît-il, obtenir un raccourcissement par l'excitation électrique, mais il faut amplifier le mouvement avec un miroir ou un dispositif très délicat ; directement je n'ai rien pu observer sur un muscle artificiel de plus de deux mètres de long.

TROISIÈME PARTIE

CHAPITRE PREMIER

ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ SUR LES TISSUS

36. Divers modes d'emploi. — Il faut considérer l'action sur l'organisme de l'électricité soit à l'état statique, soit à l'état dynamique, mais le premier de ces deux cas a été si peu étudié qu'il est très difficile aujourd'hui de tirer quelques conclusions des expériences faites; aussi nous bornerons-nous à l'étude des effets de l'électricité en mouvement. La première des choses est de déterminer pour chaque cas les

conditions précises dans lesquelles on s'est trouvé placé.

Les effets obtenus dépendent de trois conditions :

1° Du mode de préparation des organes en expérience ;

2° De l'emplacement des électrodes ;

3° Du flux électrique employé.

37. Du mode de préparation des organes en expérience. — Le premier paragraphe devrait traiter de toute la physiologie des nerfs et des muscles, mais pour les renseignements généraux nous renvoyons aux traités de physiologie et n'indiquons que quelques dispositifs expérimentaux les plus usités pour la grenouille.

Avant tout on ne saurait trop recommander de prendre les observations et de classer les tracés avec le plus grand soin, en indiquant exactement les conditions dans lesquelles on se trouvait, faute de quoi on risque de perdre des documents amassés avec peine ; plus peut-être que dans toute autre partie de la physiologie, toutes les circonstances doivent être notées avec précision. Deux tracés, l'un pris en hiver, l'autre en été, ne sont pas comparables, de même il est évident qu'à excitation égale une grenouille grande donnera une autre contraction qu'une petite, etc.

38. — Si l'on veut opérer sur les muscles seulement, on curarise la grenouille. Il faut avoir soin de ne pas forcer la dose ; chaque expérimentateur doit essayer avec soin le curare qu'il emploie, car les divers échantillons ne sont pas pareils. En général, une solution à $\frac{1}{1000}$ est très convenable et on l'injecte à l'aide d'une seringue de Pravas, par exemple, dans le sac lymphatique dorsal. Lorsque l'on veut prendre des tracés, on fixe le gastrocnémien au myographe en le détachant à son insertion inférieure et en levant en même temps le nodule sésamoïde, très commode pour y fixer solidement un petit crochet en platine.

39. — Si l'on veut opérer sur le sciatique on fixe la grenouille de même, après lui avoir détruit le cerveau et la moelle épinière à l'aide d'une forte aiguille que l'on introduit derrière la tête. On met le nerf à découvert, et suivant le cas, on le laisse en place, on l'isole en passant dessous un petit papier paraffiné, ou on le coupe à sa partie supérieure. Dans certains cas, après avoir bien isolé le nerf, on l'écarte, et d'un coup de ciseaux on enlève le plus possible du fémur et des muscles qui l'entourent ; on a ce qui s'appelle la patte galvanoscopique.

40. Préparation de Ritter. — On coupe une grenouille en deux, on enlève les intestins et tout ce qui se trouve au-dessus de la racine des cuisses, en ne conservant que le tronçon de colonne vertébrale et les nerfs lombaires, puis on coupe la colonne vertébrale en deux longitudinalement et on met les deux morceaux en communication avec les deux électrodes. On voit que le flux électrique descendra dans un groupe de nerfs et montera dans l'autre en traversant le pont de chair qui réunit encore les cuisses.

Fig. 24

41. Préparation de Marianini. — On emploie ce procédé lorsqu'on ne veut pas léser la portion inférieure de la moelle épinière ; il diffère du précédent en ce que l'on coupe le pont de chair réunissant les cuisses au lieu de couper la colonne vertébrale, et on met les électrodes au haut des cuisses. Ici le flux électrique est ascendant du côté de l'électrode + et descendant de l'autre.

Fig. 25

42. Emplacement des électrodes. — Les électrodes servant à l'excitation n'exigeront pas un choix aussi minutieux que les électrodes exploratrices ; dans beaucoup de cas la polarisation aura une influence extrêmement faible ou même nulle ; cependant, si on est dans le doute, on peut employer des électrodes impolarisables. Il faut néanmoins avoir soin que les corps en contact avec les nerfs ou les muscles ne puissent pas les détériorer et, par suite, employer toujours l'eau salée à 7 pour 1000 pour ce contact. Quant à la manière de placer les électrodes, on se trouve en présence de deux procédés. L'un consiste à mettre les deux électrodes, au contact des tissus, chacune d'elles ayant la même importance comme dimension et comme situation, c'est la méthode bipolaire. L'autre n'utilise qu'une électrode placée sur le nerf ou le muscle à exciter ; la seconde électrode est la plus vaste possible, de façon à répartir sur la plus grande surface l'action qui sera ainsi disséminée et très faible en chaque point ; cette électrode est par exemple un bain salé dans lequel on fait plonger plus ou moins l'animal en expérience. Cette vaste électrode est dite électrode indifférente et la méthode est la méthode unipolaire de Chauveau.

La méthode bipolaire suppose que le flux électrique agisse sur tout son parcours, il faut, dans ce cas, isoler avec soin l'organe sur lequel on veut agir dans la portion soumise à l'électricité ; il est bien évident qu'on devra distinguer le flux ascendant du flux descendant.

La méthode unipolaire suppose au contraire que ce sont les contacts des électrodes qui sont actifs, elle a pour but de ne pas superposer l'effet des deux pôles ; dans ce cas on distinguera l'excitation positive et l'excitation négative ; l'organe sur lequel on agit ne devra pas être isolé.

Lorsqu'on opère sur un nerf non isolé par la méthode unipolaire (1) ou par la méthode bi-

Fig. 26

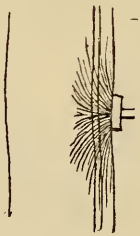
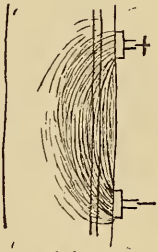


Fig. 27

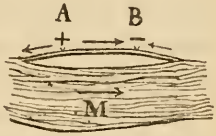


polaire (2), par exemple quand on opère sur

l'homme à travers la peau, il y a des entrées et des sorties du flux électrique en divers points du nerf, donnant lieu à ce que Erb appelle des électrodes virtuelles, qui compliquent beaucoup l'étude de certains phénomènes, comme nous le verrons plus loin.

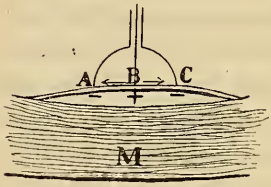
Parfois on désire employer la méthode bipolaire sans sectionner le nerf ; on s'expose alors à une erreur signalée pour la première fois par M. Rousseau et qui peut complètement fausser les observations ; voici en quoi elle consiste. Supposons que l'on veuille exciter le nerf à l'aide d'un courant descendant, on appliquera une électrode positive en A et une électrode négative en B, en ayant soin de soulever le nerf comme l'indique la *fig.* 28. On aura effectivement le courant désiré entre A et B, mais il y a un second parcours du courant remontant le nerf à partir de A, traversant le muscle de haut en bas et remontant le nerf jusqu'en B. On voit que dans la portion de nerf la plus périphérique le courant sera ascendant et l'on conçoit aisément que ce fait puisse influer immédiatement sur les contractions musculaires obte-

Fig. 28



nues ; M. Rousseau a imaginé, pour remédier à cet inconvénient, un excitateur à trois pôles, pensant supprimer ainsi totalement les courants dérivés ; il mettait par exemple le pôle positif au milieu en B et un pôle négatif de chaque côté A et C. L'effet obtenu ainsi est encore très complexe, d'ailleurs les courants traversant le muscle M ne sont supprimés que si A et C sont au même potentiel, c'est-à-dire si l'appareil est complètement symétrique et si la résistance AB est la même que BC. La seule méthode vraiment bonne consiste à couper le pont de muscle M, ou bien si l'on désire absolument le conserver, à n'isoler le nerf du muscle qu'entre les électrodes A, B ; les portions de nerf extrapolaire seront alors parcourues par des courants infimes par suite de la diffusion du flux dans les masses musculaires.

Fig. 29



43. — Une question des plus importantes dans le cas où l'on excite un muscle par l'intermédiaire de son nerf moteur, est de savoir si les di-

verses parties de ce nerf sont également excitables. Budge, le premier opérant sur le nerf sciatique de la grenouille, observa que la partie supérieure était plus excitable que la partie inférieure. Pflüger, après une série considérable d'expériences, arriva à cette conclusion que la contraction provoquée par une même excitation était d'autant plus forte que le point excité était plus loin du muscle. Il en déduisit la théorie dite de l'avalanche, d'après laquelle une excitation se renforcerait dans son parcours à travers un nerf. Il y avait lieu de se demander si cette influence prédominante des parties supérieures ne provenait pas d'une différence de structure ou d'une altération due à la préparation. D'après les recherches d'un grand nombre d'expérimentateurs, l'effet d'une section est d'augmenter l'irritabilité d'un nerf, surtout au voisinage de la section ; peu à peu cette augmentation disparaît et le nerf dépérit du centre à la périphérie, or, les expériences de Pflüger avaient été faites sur des nerfs sectionnés. D'après Rosenthal cette augmentation d'excitabilité au voisinage de la section ne serait que la phase initiale du dépérissement ; il fit voir qu'elle se produit tout le long du nerf et que chaque point commence par être plus irritable avant de voir diminuer cette

propriété. Enfin Heidenhain démontra que ce n'était pas seulement l'apanage d'une première section ; mais que chaque fois que l'excitabilité d'un nerf avait diminué d'une certaine quantité, il suffisait pour la relever de pratiquer une nouvelle section, et cela plusieurs fois de suite.

44. — Pour vérifier la théorie de l'avalanche, il fallait absolument opérer sur des nerfs non lésés. Pflüger le premier, d'autres après lui reprirent l'étude sur des nerfs intacts et au début la théorie de l'avalanche parut se vérifier. Cependant d'après Fleischl le courant descendant serait plus excitant à la partie supérieure, le courant ascendant à la partie inférieure. Pour d'autres, comme Hermann, il faut tout mettre sur le compte de la section. Tiegerstedt employant des excitations mécaniques arriva au même résultat. M. Charbonnel-Salle a repris cette question et en a fait une étude très sérieuse, d'où il résulterait que les nerfs moteurs intacts et maintenus en place, présentent en certaines régions circonscrites une irritabilité supérieure à celle des autres points ; par exemple, pour le sciatique de la grenouille, il y a deux maxima, l'un au niveau de l'émergence des rameaux fémoraux, l'autre au niveau de la bifurcation du nerf. Si

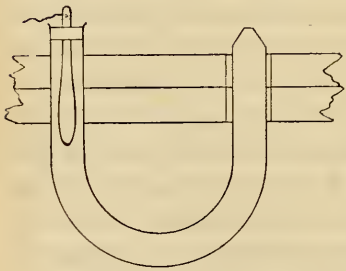
l'on vient à pratiquer une section, toute la portion périphérique subit un accroissement d'excitabilité, mais cet effet est le plus considérable au point coupé. La section de la moëlle n'exerce aucune influence immédiate.

45. — Supposons maintenant que l'on opère sur un nerf également excitable en tous ses points. Dans l'emploi de la méthode bipolaire il y a lieu de se demander si la longueur de la région interpolaire a une influence. Cette longueur peut d'abord être nulle, c'est-à-dire que les électrodes peuvent être placées à la même hauteur, le courant est alors transversal ; les divers observateurs sont loin d'être d'accord sur l'action du courant transversal. Ceux qui n'admettent pas qu'il puisse avoir un effet utile objectent aux expériences contraires que le trajet du flux dans le nerf n'est pas rectiligne et perpendiculaire aux filets nerveux, mais qu'il suit des courbes, d'où provient l'action. Un seul procédé est à l'abri de cette objection, c'est celui consistant à plonger le nerf dans un liquide traversé par un courant ; il a été employé par Hermann. Cette question est encore à l'étude. Si maintenant on place les électrodes l'une au-dessus de l'autre en employant toujours un flux de même intensité à cha-

que instant, il semble démontré que l'action croît avec la longueur du segment interpolaire. Dubois-Reymond a fait voir que l'oscillation négative est plus grande quand on éloigne davantage les électrodes. M. Charbonnel-Salle a démontré qu'il en était de même pour la contraction provoquée ; il en résulte ce point important que le nerf moteur n'est pas excité seulement aux contacts des électrodes.

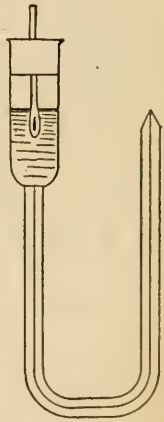
46. — Quant à la forme des électrodes, nous n'avons que peu de choses à dire ; chaque expérimentateur trouvera rapidement le dispositif qui lui convient le mieux, en modifiant à son gré celui que nous allons indiquer. On se trouve ici en présence d'une petite complication que l'on n'avait pas lors de l'exploration électrique. En général, on voudra prendre des tracés graphiques, par conséquent, la grenouille, le myographe et les électrodes devront

Fig. 30



être entraînés par le chariot. La plaque de liège sur laquelle est fixée la grenouille est facile à monter sur le support; le mieux est alors de la percer de trous dans lesquels les électrodes s'engageront de bas en haut, le dessus de la lame de liège sera ainsi tout à fait libre, ce qui est précieux ; il faut seulement avoir soin d'isoler la branche montante pour n'avoir pas de dérivations qui troubleraient les résultats. Le seul inconvénient de ce procédé est la nécessité d'avoir plusieurs planchettes pour les divers dispositifs, mais il est largement compensé par la facilité avec laquelle se font les expériences.

Fig. 31



Dans bien des cas on ne peut faire le contact par le bas; il faut alors prendre une électrode comme celles qui nous ont servi pour l'exploration et la fixer dans un support particulier. Nous verrons plus loin que l'on a très souvent intérêt à introduire dans le circuit une résistance très considérable sans self induction ; dans ce cas on fait d'excellentes électrodes avec des tubes de thermomètre à alcool du commerce,

dont on coupe le réservoir, la tige est taillée en pointe sur la meule et le bâton d'argent est placé dans l'entonnoir servant ordinairement à remplir le tube du thermomètre.

47. Du flux électrique employé. — On peut employer bien des classifications pour les divers flux électriques employés en électrophysiologie ; voici celle qui paraît la plus rationnelle :

α. Courants continus ;

β. Ondes uniques ;

γ. Ondes périodiques.

Ces divers flux sont avantageusement représentés par des courbes, l'œil est ainsi frappé et la comparaison avec les effets produits est plus aisée. Il faut que la courbe représentative contienne tous les éléments pouvant avoir une influence sur l'effet produit, d'où diverses représentations suivant l'influence que l'on attribue aux divers éléments du flux électrique. Pour M. d'Arsonval l'excitation se produit au contact des électrodes et des tissus et dépend du potentiel et de ses variations au point d'application. Par conséquent, la courbe caractérisant l'excitation est $\mathcal{E} = f(t)$, $\mathcal{E}$ représentant le potentiel au point d'application de l'électrode utile dans la méthode unipolaire ; il faut dans ce cas re-

jeter la méthode bipolaire comme superposant deux phénomènes.

On peut au contraire prendre pour courbe $\mathbf{i} = f(t)$ donnant en fonction du temps l'intensité du courant entre les deux électrodes ou bien $\mathcal{E} = f(t)$, $\mathcal{E}$ représentant la différence de potentiel entre les points d'application des deux électrodes. Si les tissus soumis à l'expérience étaient absolument impolarisables, ces deux courbes ne différeraient que par un facteur constant, résistance des tissus, mais nous verrons qu'il n'en est pas ainsi ; l'écart est cependant assez faible pour que dans la pratique il n'y ait pas lieu d'en tenir compte. D'ailleurs lorsque l'une de ces fonctions est déterminée, l'autre l'est aussi ; donc on peut prendre l'une ou l'autre pour caractériser l'excitation. Pour faire un choix entre les deux quantités $\mathbf{i}$ et $\mathcal{E}$ et prendre celle qui influe directement, il faudrait une connaissance du mécanisme de la contraction musculaire et de l'excitation des nerfs que nous sommes loin de posséder.

CHAPITRE II

—

LES COURANTS CONTINUS

48. — Quelle que soit la manière d'agir du courant continu sur l'organisme, il est représenté graphiquement par une droite parallèle à l'axe des abcisses, que l'excitation soit bipolaire ou unipolaire. On porte d'ailleurs les ordonnées au-dessus de l'axe ou au-dessous, suivant le sens du courant, et leur hauteur est proportionnelle à l'intensité du courant. Pour obtenir ces courants continus, on fait usage de piles; ce sont les seuls appareils à employer dans ce but en électrophysiologie, les machines à courant soi-disant con-

tinu ne le sont que plus ou moins approximativement. Le courant produit par les piles n'est même pas d'ordinaire absolument constant, il suffit pour s'en assurer d'intercaler un téléphone dans le circuit ; fréquemment on entend un crépitement dénotant des variations qui, du reste, ne sont gênantes que dans des cas très particuliers d'expériences délicates.

Une précaution indispensable est d'isoler soigneusement la pile en la plaçant sur un tabouret à pieds de verre, ou mieux sur des gâteaux de paraffine ; il se produit sans cela le long des vases de pile des dérivations conduisant à des erreurs invraisemblables. Quant au choix de la pile, il est indifférent d'employer tel ou tel modèle, ce n'est qu'une question de commodité, une pile Leclanché ou Daniell montée avec soin rend d'excellents services ; il est bon seulement d'avoir un commutateur permettant d'introduire un à un les divers éléments. Il faut de plus mettre un rhéostat dans le circuit et y laisser à poste fixe un galvanomètre, qui donnera tous les renseignements nécessaires sur la valeur du courant. Ce fait a été contredit par divers observateurs. M. Onimus proscrit les piles Bunsen comme donnant des courants à forte action chimique ce qui, à intensité égale, n'arrive-

rait pas avec les piles Daniell ; il suffit de se rappeler les lois de Faraday pour voir combien cette erreur est grande. M. d'Arsonval se basant sur les observations des médecins électriciens parmi lesquels M. Tripier, un des fondateurs de l'électrothérapie, dit qu'à intensité égale marquée au galvanomètre un courant est d'autant plus douloureux que la force électromotrice de la pile qui l'a produit est plus grande. Voici du reste l'expérience qu'il apporte à l'appui. On plonge les mains dans deux vases pleins d'eau mis en communication avec les deux pôles d'une pile et on introduit successivement des éléments jusqu'à ce que le courant soit de 10 milliampères par exemple, on éprouve la sensation du passage du courant, nullement douloureuse, le nombre de Leclanchés étant de 12 à 15 environ. On recommence en intercalant une forte résistance de manière à nécessiter 60 éléments pour arriver à la même intensité de 10 milliampères, et le courant devient incomparablement plus douloureux. Cette expérience serait très probante et le fait serait à notre avis absolument incompréhensible, car l'explication donnée par M. d'Arsonval qui trouve le fait très simple, ne nous satisfait pas. Nous avons répété l'expérience avec MM. Gariel et Broca en poussant jusqu'à 120 éléments et

nous avons constaté qu'à un même effet correspondait toujours une même intensité.

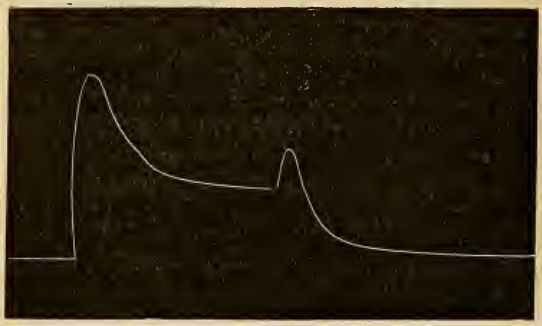
L'expérience était faite de la manière la plus concluante, la personne sur laquelle on opérait ne voyait pas le galvanomètre, ce n'est qu'au moment où elle disait éprouver la même sensation dans les divers cas, qu'on allait vérifier l'intensité du courant, ce procédé seul exclut toute idée préconçue à laquelle il est si difficile de se soustraire en pareille matière. La période variable de fermeture ou celle de rupture ne sont pas les mêmes à intensité égale, elles dépendent de diverses conditions comme nous le verrons plus loin.

Quant aux arguments tirés par M. Tripier de sa grande expérience chimique, ils n'ont peut-être pas toute la valeur qu'on a voulu leur accorder, du fait même des malades ; une observation de laboratoire bien faite sur une personne habituée aux expériences, vaut mieux que mille autres prises sur les premiers venus toujours enclins à se plaindre de la douleur.

Voyons maintenant ce qui se passe pendant le passage du courant continu en écartant les périodes variables de fermeture et de rupture qui rentrent dans l'étude des ondes uniques.

49. Raccourcissement galvanotonique. — Prenons une grenouille immobilisée par destruction du cerveau et de la moelle et fixons-la au myographe, puis plaçons deux électrodes aux extrémités du gastrocnémien, lançons un courant continu que nous romprons au bout d'un ins-

Fig. 32



tant ; la forme la plus générale du tracé que nous obtenons est représentée ci-contre ; on voit les contractions dues à la fermeture et à la rupture du courant, entre les deux, un raccourcissement permanent pendant la période constante. C'est ce raccourcissement qui porte le nom de raccourcissement ou contraction galvanotonique. On remarque aussi qu'après que toute action a cessé,

le muscle ne revient que très lentement à sa longueur primitive, il persiste pendant assez longtemps ce que l'on peut appeler pour abréger le langage un résidu de contraction.

Si l'on opérait sur une grenouille curarisée, le résultat serait absolument le même.

Fig. 33

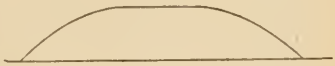
Mais, sur la première grenouille, découvrons le nerf, isolons-le avec soin et appliquons-lui directement deux électrodes ; nous aurons souvent une courbe analogue à la précédente, parfois cependant une des contractions initiale ou finale manquera, enfin la contraction pendant le passage du courant sera beaucoup plus faible par rapport à celles dues aux ondes variables de

rupture ou de fermeture. Ce résultat est représenté sur la deuxième figure : immédiatement on est amené à se demander si la contraction permanente pendant le passage du courant n'est pas un simple résidu de contraction. Pour vérifier ce fait, il faut chercher à faire passer le courant permanent en supprimant la contraction de fermeture. On y arrive en ne lançant pas brusquement le courant, mais en le faisant croître peu à peu, par exemple en intercalant dans le même circuit un rhéostat très considérable, puis en introduisant à l'aide d'un commutateur les divers éléments dont on veut faire usage ; finalement en ramenant le rhéostat au zéro. On peut aussi fermer la pile sur elle-même et relier les électrodes à deux points A et B du circuit, puis on fait croître peu à peu la résistance qui se trouve entre A et B ; plus elle augmente plus le courant traversant les tissus est fort.

En employant un de ces deux procédés, voici ce que l'on constate ; si l'on agit directement sur le muscle comme dans la première des expériences précédentes ou si l'on opère sur une grenouille curarisée, le raccourcissement galvanotonique augmente et diminue peu à peu avec l'intensité du courant. Si au contraire on opère avec le même courant en plaçant les électrodes

directement sur le nerf comme dans le deuxième cas, le raccourcissement ne se produit pas. Il est donc démontré que le courant continu agit directement sur le muscle, mais ne provoque pas de contraction par excitation du nerf. Ces effets sont d'ailleurs les mêmes, que le courant soit ascendant ou descendant, sauf une légère prédominance en faveur du premier. Il est bien évident qu'il ne faut pas dans ces expériences employer des courants par trop énergiques, sans cela on produirait des effets chimiques ou thermiques qui fausseraient les résultats; on est du reste dans de bonnes limites si l'on se conforme à la règle suivante qui s'applique à tous les cas où l'on prend des tracés musculaires : Il ne faut jamais dans une série de tracés avoir la contraction maxima ; en effet, si l'on se trouve dans ces conditions, il peut arriver que l'on prenne comme excitations égales, deux excitations donnant la même contraction ; cependant il n'en sera rien, la plus faible des deux donnant la contraction maxima, la plus forte donnera forcément la même chose ; aussi est-il bon, dans les études de ce genre, de provoquer une contraction assez

Fig. 31



forte que l'on inscrira et au-dessous de laquelle on se tiendra toujours notablement.

50. — Si l'on fait croître régulièrement l'intensité du courant, on voit qu'au début la contraction croît proportionnellement à cette intensité, puis moins rapidement jusqu'au maximum; le début de la courbe qu'on en déduit semble indiquer que l'excitation est proportionnelle à l'intensité du courant.

Enfin il y a un fait remarquable : En conservant une intensité constante et en produisant une série d'excitations avec des poids tenseurs différents le raccourcissement est toujours le même tant que l'on reste dans certaines limites, ainsi en prenant pour un gastrocnémien de grenouille successivement 5, 10 et 30 grammes, on aura trois courbes représentées ci-contre. L'axe des abcisses sera déplacé, mais le raccourcissement sera le même.

Fig. 35

En terminant, disons que ce que l'on appelle dans les livres « tétanos d'ouverture ou de Ritter », c'est un raccourcissement consécutif au passage d'un courant très intense à tra-

vers un muscle, n'est très certainement autre chose qu'un résidu de contraction.

51. — Jusqu'ici il n'a été question que de muscles striés ; les muscles lisses se contractent aussi sous l'influence du passage du courant continu ; des ondes uniques ou périodiques ne produisent pas cet effet, c'est ce qui a conduit Boudet de Paris à les employer dans le traitement de l'occlusion intestinale où il a obtenu de magnifiques résultats.

52. Actions chimiques du courant. — Le courant continu produit des actions chimiques aux points d'application d'électrodes métalliques et sur tout le parcours du courant.

Les actions chimiques qui se produisent aux électrodes sont bien connues ; elles résultent de la décomposition des sels métalliques en dissolution dans les liquides de l'organisme, par exemple du chlorure de sodium. A l'électrode positive il y a dégagement d'acides, à l'électrode négative de métaux qui, par action secondaire, donnent des bases. Le phénomène est identique à celui que l'on produit dans la décomposition d'une solution saline dans un vase et il semble au premier abord qu'il n'y ait aucune modification en dehors du contact des électrodes. Les acides

et les bases agissent sur les tissus et donnent des eschares, molles au pôle négatif et dures au pôle positif. Sans doute d'autres corps que les sels sont aussi électrolysés, mais il est difficile de dire ce qui se passe; les travaux entrepris sur ce sujet n'ont donné que peu de résultats. Ces faits reçoivent de nombreuses applications en chirurgie, et en général l'explication des résultats obtenus est assez simple ; cependant il y a un cas des plus importants sur lequel planent des doutes considérables et qui mériterait d'être soumis à l'expérimentation la plus soignée ; je veux parler de la cure des anévrysmes. Pendant longtemps on a simplement admis qu'une aiguille d'or étant piquée dans le sac et servant de pôle positif, le sang se coagulait autour d'elle par suite du dégagement acide, mais il paraît démontré que cette explication ne suffit pas, et qu'il y a des modifications dans la paroi même du sac ; si cela est réellement, il faut en chercher la raison dans les actions chimiques produites en dehors des points d'application des électrodes. Il en est de même dans l'électrolyse des fibrômes utérins qui depuis les travaux de M. Apostoli a pris une si grande place dans le traitement de ce genre d'affections.

L'action dans le trajet interpolaire a été sou-

tenue par divers auteurs, vivement attaquée par d'autres. Bardet avait été amené à l'admettre au cours d'un travail sur l'introduction des médicaments dans l'organisme par l'électricité. Boudet de Paris, pour la mettre en évidence, avait fait passer un courant dans des tissus à l'aide de serre-fines servant d'électrodes, puis changeant ces serre-fines avait constaté l'existence d'un courant de polarisation cette expérience n'est pas démonstrative, diverses objections peuvent lui être faites, entre autres que les produits de décomposition imprégnaient les tissus aux points de fixation des électrodes. On peut cependant arriver à une démonstration qui paraît à l'abri de la critique. Nous avons vu que les muscles se contractent sous l'influence du passage du courant continu; en étudiant cette contraction de plus près on arrive à en déduire qu'il se passe à l'intérieur du muscle certaines modifications. En effet, produisons avec le même poids tenseur et le même courant une série d'excitations de même sens; nous verrons l'amplitude de la contraction aller en diminuant peu à peu ; au premier instant, on pourrait attribuer ce fait à la fatigue, mais il n'en est rien, car le repos n'amène aucune amélioration et il suffit au contraire de renverser le sens de l'excitation pour voir la contraction se

produire avec autant d'énergie qu'au début ; on peut répéter cette expérience plusieurs fois. Il vient immédiatement à l'idée d'attribuer ce phénomène à une espèce de polarisation à l'intérieur du muscle, polarisation qu'il faut détruire par un courant de sens contraire à celui qui l'a produite. Pour vérifier ce fait il faut faire des mesures de force électromotrice de polarisation ; la meilleure méthode est celle due à M. Chaperon, elle est indiquée dans la première partie. On constate, de cette façon, en faisant passer le courant polarisant d'une patte de derrière à l'autre, que le corps de la grenouille est le siège d'une force contre-électromotrice d'environ $\frac{1}{5}$ de volts. En plongeant les deux mains dans les cristallisoirs, on arrive à des chiffres du même ordre de grandeur. Ces expériences nous montrent que nous avons simultanément, lors du passage d'un courant à travers les muscles, diminution de propriété contractile du muscle et production d'une force contre-électromotrice ; il semble légitime d'en conclure qu'il se produit des modifications chimiques dans l'intimité même de ces muscles. Ce fait n'a rien d'étonnant ni de contraire aux lois de l'électrolyse, on peut mettre des actions analogues en évidence, en ne pre nant pas des électrolytes homogènes.

Par exemple, versons au fond d'un tube en U de la gélatine fortement salée, au-dessus de la gélatine non salée, le tout coloré par de la teinture de tournesol, et faisons passer un courant d'une branche à l'autre, nous verrons bientôt le tournesol virer au bleu d'un côté, au rouge de l'autre, à la séparation des portions salées et non salées ; or, le corps humain, ou plutôt le muscle, est loin d'être un électrolyte homogène ; ces phénomènes peuvent donc fort bien s'y produire.

On peut pousser l'étude plus loin. Un muscle électrolysé se dépolarise par renversement du sens du courant, mais il ne le fait pas lorsqu'on se contente de retirer la pile et de fermer le circuit extérieur sur lui-même ; il n'y a donc pas une simple mise en liberté de produits capables de se recombiner comme dans une pile secondaire.

Si on prend une grenouille nullement mutilée et qu'on fasse passer un courant de l'extrémité d'une patte à la racine de la cuisse, on électrolyse les muscles ; remettons-la dans l'aquarium et au bout d'une huitaine de jours préparons-la pour prendre des tracés. On constatera que ce repos n'a amené aucune amélioration, non seulement le muscle a perdu une grande partie de son excitabilité pour des courants de même sens que le courant polarisant, mais encore pour des

courants inverses ou des ondes périodiques ; la lésion est beaucoup plus profonde qu'immédiatement après l'opération. La patte non soumise au courant donne des contractions dix ou vingt fois plus grandes que l'autre et cela pour des courants qui, au premier abord, paraissent faibles, de deux à quatre milliampères pendant deux minutes, suffisent largement, ce n'est certainement pas la limite inférieure. On a objecté que les lésions signalées devraient se produire souvent en électrothérapie où l'on emploie des courants dix fois plus forts et dans certains cas bien plus considérables encore ; cela tient à ce que la mesure importante pour évaluer l'action d'un courant n'est pas l'intensité absolue de ce courant, mais son intensité par unité de surface traversée, ce que l'on appelle la densité du courant. La section de la cuisse d'un homme est peut-être mille fois plus considérable que celle d'une grenouille, pour produire des effets identiques il faudrait donc employer des courants mille fois plus forts sur l'homme. Cette remarque prouve que les médecins électriciens ne donnent souvent pas de renseignements suffisants en indiquant l'intensité du courant employé dans une opération : il faudrait indiquer en même temps la dimension des électrodes et, si c'était

possible, la surface de section des tissus traversés.

En terminant, indiquons que le microscope permet de vérifier des faits déduits des expériences indiquées plus haut. Si l'on soumet une grenouille à deux ou trois séances d'électrolyse et qu'on la sacrifie un mois après la première, on trouve dans les préparations microscopiques les muscles complètement altérés. Des expériences récentes m'ont fait voir qu'une seule séance de cinq minutes avec un courant de un ou deux milliampères suffit ; quelques jours après, l'altération est visible au microscope.

53. Effets d'entraînement. — Un autre sujet d'études important au point de vue de l'action des courants sur l'organisme, se trouve dans les phénomènes d'entraînement par le courant.

En premier lieu nous avons les transports de liquide observés pour la première fois par Porret. On peut les mettre en évidence en prenant comme l'a fait Becquerel, deux tubes contenant de l'argile délayée dans de l'eau et fermés à la partie inférieure par un morceau de gaze ; on plonge les deux tubes dans l'eau et on fait passer le courant en mettant les électrodes dans les deux tubes ; on voit l'eau se troubler au-dessous du tube contenant le pôle positif, ce qui indique

un transport de l'eau argileuse dans le sens du courant. De même, si l'on met un liquide dans un tube en U et les électrodes dans les deux branches, on voit le liquide monter du côté négatif par suite du transport. Pour faire cette expérience, il faut employer un liquide présentant une certaine résistance; ainsi de l'acide sulfurique étendu n'est pas sensiblement entraîné ; cependant un liquide de conductibilité à peu près nulle comme l'huile n'est pas entraîné non plus. En opérant comme dans les expériences précédentes, le niveau tend à se rétablir par suite des lois de l'hydrostatique ; si l'on empêche ce phénomène de se produire à l'aide d'un diaphragme poreux, le transport du liquide devient beaucoup plus visible. C'est sous cette forme qu'il a été étudié par Wiedemann qui a conclu de ses expériences que l'entraînement était indépendant de la surface du diaphragme et de son épaisseur et que la quantité de liquideain si déplacée était proportionnelle à l'intensité du courant, en admettant que la pression soit la même des deux côtés.

54. — M. Jurgensen a constaté que si le liquide traversé par le courant tenait en suspension des particules très fines, elles étaient entraînées en sens inverse de la propagation du courant. D'après M. Quincke, le transport peut

aussi se produire dans le sens du courant, ce phénomène n'est pas suffisamment étudié.

55. — Dans une électrolyse, le sel soumis à la décomposition subit un entraînement et l'on voit la solution s'appauvrir au pôle négatif, ce que l'on constate facilement en opérant sur un sel coloré, par exemple le sulfate de cuivre en se servant d'électrodes solubles du même métal.

56. — M. Chassy a constaté que si l'on prenait une solution de deux sels dont l'un en quantité insuffisante pour être décomposé, ce dernier était entraîné dans le sens du courant proportionnellement à l'intensité.

57. — Des phénomènes du même genre se présentent lorsque le courant électrique traverse des corps tels que la gélatine. L'observation se fait facilement en opérant sur des matières colorantes solubles dans l'eau, telles que l'éosine, le bleu de méthylène, la safranine, etc. On prend un tube en U que l'on remplit d'une solution de gélatine ; quand cette dernière a fait prise on retourne le tube de façon à faire plonger les branches dans deux vases contenant la solution colorante ; on fait passer le courant.

La diffusion seule ferait monter la matière colorante à la même hauteur des deux côtés. Au lieu de cela, on trouve une inégalité très considérable et cela pour des courants tellement faibles, qu'au premier abord on se demande si on ne s'est pas trompé. Tantôt la matière colorante monte plus rapidement dans la branche positive, tantôt dans la branche négative, suivant le produit employé ; ainsi le bleu de méthylène est entraîné dans le sens du courant et l'éosine en sens contraire sans que l'on puisse savoir pourquoi, jusqu'ici du moins. Pour donner une idée de ces effets, voici une expérience. On prend un tube en U du commerce de 15 centimètres de haut environ, rempli de gélatine solidifiée et plongeant dans une solution d'éosine; sous l'influence d'un courant de $\frac{1}{10,000}$ d'ampère environ en moins d'une semaine la branche négative est entièrement colorée, tandis que dans la branche positive l'éosine monte à peine à un centimètre. En tenant compte de la section, les courants employés sont du même ordre que ceux usités en électrothérapie ; on peut juger en réfléchissant à la petitesse des éléments anatomiques, quelle influence de pareils courants doivent avoir sur les phénomènes d'échange qui se passent dans l'intimité des tissus. Remarquons d'ailleurs

que c'est directement sur les éléments colorants que le courant agit et qu'il ne peut être question ici d'une influence de la surface libre de la gélatine ou des pôles de la pile, car on peut mettre un certain nombre de tubes en série et dans chacun d'eux on verra la même action, ce qui exclut l'influence des pôles ; on peut aussi, au lieu d'employer une simple solution colorée, y ajouter de la gélatine dans la même proportion que dans le tube et ne faire passer le courant que lorsque tout est pris ; on exclut ainsi l'influence des surfaces de séparation de deux milieux.

En opérant de la façon indiquée plus haut, il faut attendre plusieurs jours le résultat d'une expérience ; on peut avoir des effets observables immédiatement, il suffit pour cela d'opérer sur des masses extrêmement petites. On met une petite goutte de gélatine liquide sur une lame de verre destinée aux préparations microscopiques, on couvre avec une lamelle. Quand la gélatine est prise, on fait passer le liquide coloré par capillarité et on observe la diffusion au microscope ; l'expérience est très rapide et permet d'étudier l'effet des courants.

58. — Il y a quelques années on a fondé de grandes espérances sur l'introduction de médi-

caments dans l'organisme, à l'aide du courant électrique. Cette méthode, abandonnée un certain temps, jouit actuellement d'une vogue nouvelle, surtout en Amérique ; si les faits annoncés se vérifient, ils sont certainement dûs à des phénomènes d'entraînement.

59. De l'électrotonus. — Nous avons vu que le courant continu ne provoque pas la contraction musculaire par l'intermédiaire du nerf ; mais, pendant son passage, le nerf est le siège de phénomènes qui ont joué un grand rôle dans certaines théories de l'excitation électrique.

Il se produit :

1° des modifications de l'excitabilité,
2° des manifestations électriques.

Ces effets sont désignés généralement sous le nom d'état électrotonique ou électrotonus.

60. — Supposons que nous fassions passer un courant entre deux points A et B d'un nerf; l'expérience démontre que l'excitabilité du nerf est augmentée à l'électrode négative et diminuée à l'électrode positive, dans la région intrapolaire et dans la région extrapolaire ; il y a une ligne neutre entre les deux pôles. Certains auteurs expriment ce fait en disant qu'au pôle positif il y

a « anelectrotonus » et au pôle négatif « catelectrotonus ».

Pour mettre le phénomène en évidence, on peut employer deux procédés : ou bien conserver toujours la même excitation et juger de l'augmentation ou de la diminution d'excitabilité par l'amplitude de la contraction provoquée, ou bien chercher dans chaque cas l'excitation minima nécessaire pour provoquer la contraction. C'est cette dernière méthode qui donne les résultats les plus nets. On commence par placer les électrodes A et B par lesquelles on veut faire passer le courant et les électrodes C et D servant à l'excitation ; on diminue l'intensité de l'excitation jusqu'à ce que le muscle ne se contracte plus ; on fait passer le courant. Si A est l'électrode négative on voit, au moment d'une excitation, la contraction se produire ; si au contraire A est positif, on peut augmenter l'intensité de l'excitation sans produire la contraction. Au moment de la rupture du courant il se produit, paraît-il, au pôle positif, une augmentation de l'excitabilité qui met un certain temps à disparaî-

Fig 36

tre ; à l'électrode négative il y a une diminution de l'excitabilité très courte, suivie aussitôt d'une augmentation qui persiste un certain temps. Donc, après l'ouverture du courant, il resterait aux deux pôles une augmentation plus ou moins longue de l'excitabilité. D'après d'autres observateurs, les phénomènes d'électrotonus sont instantanés ; ils apparaissent et disparaissent avec le courant.

Eulenbourg et Erb ont cherché à vérifier les lois de variations d'excitabilité dans l'état électrotonique sur l'homme vivant ; ils sont arrivés d'abord à des résultats contraires : Eulenbourg a retrouvé les mêmes lois que sur les animaux, Erb conclut d'abord de ces expériences qu'il y avait augmentation d'excitabilité à l'électrode positive et diminution à l'électrode négative. Helmholtz fit remarquer qu'en agissant sur le nerf à travers la peau, il y avait une distribution telle du courant qu'au lieu d'entrer en un point du nerf voisin de l'électrode positive et d'en sortir près de l'électrode négative, il y avait des points intermédiaires d'entrée et de sortie du courant et formation de ce qu'Erb appelle des électrodes virtuelles, dès lors

Fig. 37

on ne sait plus exactement ce que l'on fait. En excitant le nerf tout près des électrodes, là où la diffusion du courant n'est pas encore notable, Erb a constaté que la règle ordinaire se trouvait vérifiée.

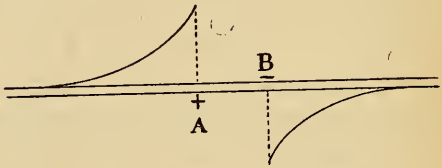
Les pôles n'ont pas seulement une action sur l'excitabilité, mais aussi sur la conductibilité du nerf pour une excitation venant d'un autre point ; il y aurait, suivant certains auteurs aux deux pôles, suivant d'autres au pôle positif seulement, une diminution de conductibilité pouvant aller jusqu'à une interruption complète, ce que l'on a appelé une section physiologique. Pour une intensité de courant assez grande une excitation produite au-dessus d'un pôle positif ne se transmet plus au muscle.

Enfin pour certains auteurs la conductibilité est augmentée au pôle négatif. On voit par ces contradictions combien la question est encore obscure.

61. — Examinons maintenant les phénomènes électriques dont un nerf parcouru par un courant est le siège. Prenons un nerf et appliquons-lui deux électrodes en A et B ; faisons passer le courant de A vers B. On constatera dans la région extrapolaire une élévation de potentiel du

côté positif, élévation s'étendant plus ou moins loin suivant l'intensité du courant, comme l'indique la *fig.* 38. Du côté négatif il y a une chute

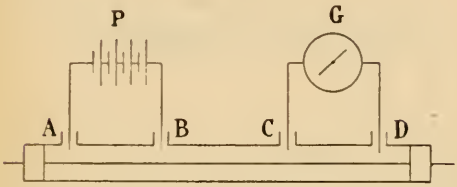
Fig. 38



du potentiel ; il en résulte qu'en appliquant en deux points deux électrodes exploratrices, on constatera la présence d'un courant de même sens que le courant polarisant, se superposant au courant de repos. Ces courants ainsi obtenus sont notablement plus intenses que les courants de repos et il n'y a cet égard aucune confusion possible. Quelle est leur provenance ? Hermann les attribue à une polarisation entre le cylindre-axe et la myeline, car sur les nerfs où cette dernière vient à manquer on n'arriverait pas à les produire. Pour le démontrer, Hermann a fait l'expérience suivante, déjà imaginée en principe par Matteucci. Un tube muni de quatre ouvertures A, B, C, D, est traversé par un fil métallique

et rempli de liquide. Une pile P sert à faire passer un courant entre A et B, un galvanomè-

Fig. 39



tre est mis en relation avec C et D. On constate un courant au galvanomètre lorsqu'il y a polarisation entre le fil et le liquide, par exemple lorsqu'on prend un fil de platine et de l'eau acidulée ; au contraire, le courant disparaît avec la polarisation, par exemple avec un fil de zinc plongeant dans une solution de sulfate de zinc. Cependant on peut objecter ce fait que les courants électrotoniques apparaissent et disparaissent en même temps que le courant qui se produit ; pour mettre ce fait en évidence, on prend un nerf (1) complètement séparé et on applique en deux de ses points, deux points d'un autre nerf (2) attenant encore à la patte ; Si l'on vient à faire passer des courants instantanés entre deux points A et B, à chaque onde électrique corres-

pond une secousse musculaire; le nerf (2) a donc été excité. Cet effet ne peut être attribué qu'à

Fig. 40

l'état électrotonique ou à l'oscillation négative; or il faut écarter cette dernière cause, car toute autre excitation que l'excitation électrique ne produit pas la contraction. Cette expérience se nomme secousse paradoxale; elle démontre que l'état électrotonique apparaît et disparaît assez brusquement pour agir comme une onde de rupture ou de fermeture d'un courant. L'électromètre de Lippmann, par la rapidité de ses indications, a permis de vérifier le fait que nous venons de signaler, et de l'étudier dans le cas d'ondes instantanées, comme on l'a fait pour l'oscillation négative. Signalons enfin ce fait très important qu'une ligature ou l'écrasement du nerf supprime aussitôt toute manifestation électrique au-delà.

62. Résistance des tissus. — Dans les cas où l'on agit par la méthode bipolaire sur un

seul organe isolé, tel qu'un nerf, les appareils placés dans le circuit renseignent complètement sur le flux électrique utilisé ; mais il n'en est plus de même si le nerf se trouve noyé au milieu des tissus, surtout si l'on emploie la méthode unipolaire. Les tissus animaux n'ont pas tous la même résistance et en envoyant un courant à travers un membre composé d'os de muscles et de nerfs, il sera en général bien difficile, pour ne pas dire impossible, de déterminer la façon dont se répartira le courant. Supposons pour un instant que chacun des conducteurs, os, muscle, nerf formant un membre, soit un cylindre allant d'un bout à l'autre, il est facile de démontrer qu'en appliquant une électrode à chaque extrémité, le courant se répartira de façon que sa densité soit en raison inverse de la résistance spécifique de chaque tissu ; par conséquent les nerfs moins bons conducteurs que les muscles seront plus difficilement atteints par le courant, les os encore davantage. Ce qui complique surtout l'étude de ce point important, c'est la distribution irrégulière de ces divers tissus ; il est absolument impossible en appliquant deux électrodes en deux points du corps de déterminer avec quelque approximation la répartition du flux électrique ; aussi en est-on ré-

duit, lorsqu'on ne veut faire aucune lésion, à des hypothèses.

Les tissus animaux semblent d'autant plus conducteurs qu'ils contiennent plus de liquide. En première ligne nous trouvons les muscles, puis les nerfs qui ne s'en éloignent pas beaucoup ; les os ont une résistance environ vingt fois plus grande que les muscles, d'après Eckard. D'après Hermann la direction de propagation du courant aurait une grande influence ; ainsi la résistance transverse du nerf serait cinq fois plus grande que la résistance longitudinale ; pour des tissus musculaires la proportion serait de un à neuf.

Un élément très important est l'état de la peau. La peau a une résistance extrêmement considérable, c'est elle qui joue le plus grand rôle dans les applications sur l'homme ; aussi peut-il arriver qu'à des distances plus grandes des électrodes correspondent des intensités plus grandes ; par exemple Erb signale ce fait qu'en mettant une électrode à la nuque et une autre au creux poplité, on a une intensité de courant plus grande qu'en les plaçant toutes deux sur les reins. Cet effet de la peau est en partie dû à la matière sébacée dont elle est toujours plus ou moins enduite ; en effet, si l'on prend à la

main les réophores aboutissant à une pile dans le circuit de laquelle se trouve un galvanomètre, on constatera une certaine déviation ; si ensuite on se savonne bien les mains à l'eau chaude et qu'on les mouille avec de l'eau salée, on constate une augmentation d'intensité très considérable. La variation de résistance se produit d'ailleurs par le fait même du passage du courant, en grande partie sans doute par suite des alcalis et des acides qui modifient la peau au point de contact des électrodes ; en laissant passer le courant pendant un certain temps sans toucher à la pile, on voit l'intensité du courant aller en augmentant. La résistance des tissus traversée par un courant, semble aussi aller en diminuant quand l'intensité du courant augmente. Une expérience simple consiste à mettre les pôles d'une pile en communication avec deux électrodes placés sur la peau et à faire croître peu à peu l'intensité du courant en augmentant le nombre des éléments de la pile. Si ensuite on déduit par le calcul la résistance des tissus de la force électromotrice de la pile et de l'intensité du courant observée au galvanomètre, on constate que cette résistance prend des valeurs d'autant plus faibles que l'intensité est plus grande. Si, revenant en arrière, on diminue peu à peu le nom-

bre des éléments, on voit que la diminution de résistance persiste un certain temps. Comme nous l'avons dit, ces variations sont dues en partie aux produits mis en liberté, mais d'autres éléments compliquent le phénomène. Si, en effet, on cherche à faire des mesures de résistance par la méthode de Kohlrausch, il n'y a plus d'électrolyse, puisque le courant est alternatif ; cependant il y a des variations de résistance continuelles. Le silence étant obtenu, on arrête la bobine d'induction sans rien modifier à l'équilibre du pont, si au bout d'un moment on la fait marcher de nouveau, le téléphone n'est plus au silence, par suite du repos la résistance des tissus a varié. D'après le Dr Gaertner de Vienne, les variations de résistance pourraient être instantanées et ne pas dépendre par conséquent d'électrolyses ou de dilatations des vaisseaux ; selon lui, en effet, la résistance du corps humain ne serait pas la même pour le courant induit direct et le courant induit inverse d'une bobine ; elle serait toujours moindre pour ce dernier. Pour le démontrer, M. Gaertner met un galvanomètre dans le circuit de la bobine et du corps humain et constate que l'aiguille dévie, indiquant une prédominance du courant induit de rupture, ce qui n'a pas lieu si on supprime le corps humain. L'hypothèse du Dr Gaert-

ner permettait de se rendre compte du phénomène ; cependant je crois qu'il y a des réserves à faire au sujet de cette explication. Le phénomène a été étudié par le Dr Dubois de Berne et le Dr Stauffer ; ils l'ont attribué à des contacts imparfaits qui ne seraient franchis que par le courant induit de rupture.

Quoi qu'il en soit, il y a là une série de faits importants, tant en physiologie qu'en électrothérapie et que l'expérience pourra élucider.

CHAPITRE III

—

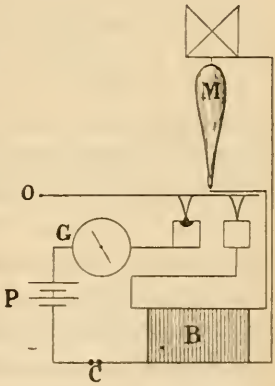
LES ONDES UNIQUES

68. Temps perdu de Helmholtz. — Dans l'étude du courant continu nous n'envisagions que la période où le régime est établi et ne nous occupions pas du tout du début et de la fin de l'excitation. Avant d'entreprendre l'étude des ondes uniques il faut faire celle de la période latente d'excitation, appelée aussi « temps perdu de Helmholtz », car nous avons vu que la contraction ne suit pas immédiatement la cause qui la provoque. La durée de ce temps perdu a mené certains observateurs à des conclusions très importantes, aussi devons-nous voir les divers procédés employés pour le mesurer.

Si l'on se contente d'inscrire sur un cylindre tournant le moment de l'excitation et la contraction musculaire, on s'expose à de grandes erreurs ; car, ou bien le cylindre tourne lentement et alors l'erreur relative est grande, ou bien il tourne vite et la courbe de contraction venant tangente à l'axe des abcisses on ne peut déterminer où elle commence.

64. Procédé employé par Helmholtz pour éluder cette difficulté. — Le muscle fixé à sa partie supérieure est relié à un levier tournant autour du point O et reposant par deux pointes sur deux contacts ; le muscle est excité par le courant induit d'une bobine de Ruhmkorff, et le courant inducteur passe par les deux contacts et un galvanomètre balistique. Si le muscle se raccourcit, le contact est rompu par suite du soulèvement du levier. Si donc on

Fig. 41

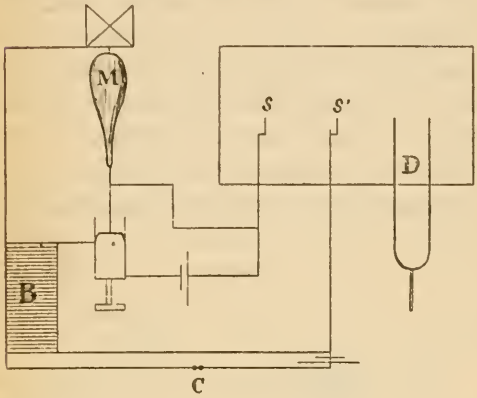


lance le courant en fermant le commutateur C, le courant inducteur ne passera que pendant le temps de l'excitation latente et le galvanomètre G aura une élongation dépendant du temps pendant lequel le passage a eu lieu, temps que l'on peut par suite en déduire. Pour éviter que le levier en retombant après l'excitation, ne referme le circuit, un des contacts est une pointe de cuivre trempant par son extrémité dans le mercure qui la mouille ; en la relevant peu à peu, le mercure est soulevé par capillarité et le contact est fait quoique la pointe soit au-dessus du niveau du mercure ; si le contact se rompt il ne se refait pas. Ce procédé serait excellent si le courant prenait instantanément toute sa valeur, mais il y a une période variable de début par suite de la self-induction du circuit, qui fait que les temps ne sont pas proportionnels aux élongations du galvanomètre, ce qui rend la méthode d'une application difficile.

65. Autre procédé. — Le membre étant fixé à sa partie supérieure, on suspend à sa partie inférieure une aiguille en platine venant toucher la surface d'une masse de mercure ; le muscle peut ainsi être excité à l'aide de la bobine d'induction B par la fermeture ou l'ouverture de C.

A ce moment le muscle se contractant rompt le contact au mercure, ce qui est indiqué par le si-

Fig. 42



gnal S, la fermeture de C est indiquée par le signal S'. Un diapason D inscrit le temps; les deux signaux de Deprez S et S' peuvent d'ailleurs être réglés de façon à fonctionner rigoureusement en même temps; il suffit, pour vérifier leur accord ou tenir compte de la différence, d'intercaler dans le circuit induit de la bobine le signal S au lieu du muscle et de faire des fermetures et ruptures en C pendant la rotation du cylindre.

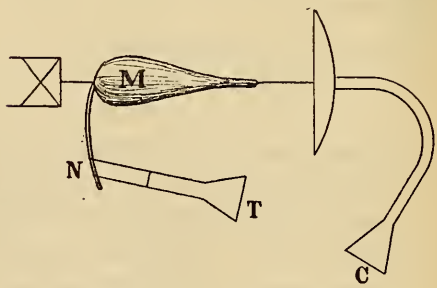
On a trouvé par ces procédés des retards à l'excitation variant de $\frac{1}{50}$ de seconde à $\frac{1}{150}$.

66. Ces retards ne concernent que l'apparition des phénomènes extérieurs du raccourcissement du muscle, car d'Arsonval a fait voir que le muscle pouvait répondre à un nombre extrêmement considérable d'excitations à la seconde, incompatible avec un temps perdu aussi grand.

Voici en quoi consiste l'expérience :

Un muscle fixé solidement à une extrémité est

Fig. 43



attaché par l'autre bout au centre d'une membrane. On excite le nerf au moyen d'un téléphone : si l'on vient à parler devant cet appareil on entend la parole reproduite par la membrane vibrante

en appliquant l'oreille au cornet acoustique C. Comme le nombre moyen de vibrations de la parole est d'environ 5000 par seconde, il est démontré que le muscle répond à un pareil nombre d'excitations sans qu'il en paraisse rien à l'extérieur. M. le Professeur Gariel m'a fait observer que le nombre 5000 est exagéré et qu'il faut le réduire au moins au $\frac{1}{5}$ de cette valeur.

Si dans les procédés employés plus haut pour mesurer le temps perdu nous excitons le muscle par l'intermédiaire du nerf, nous pouvons mesurer la vitesse de transmission d'une excitation dans le nerf en excitant deux points différents. La différence de temps perdu donnera le temps mis par l'excitation pour se propager d'un de ces points à l'autre.

67. Diverses ondes étudiées. — L'étude des ondes uniques est encore entourée de beaucoup d'obscurité ; il est impossible de donner des résultats s'appliquant à tous les cas ; pour la facilité de l'exposition il faut encore faire une division :

1° L'organe soumis à l'expérience ne se trouve pas dans les mêmes conditions avant et après l'excitation ; nous avons affaire aux ondes de fermeture ou de rupture des courants ;

2° L'organe est dans les mêmes conditions avant et après l'excitation ; c'est ce qui se produit pour les ondes induites de rupture ou de fermeture, et les décharges de condensateur.

68. Ondes de fermeture et de rupture des courants. — L'excitation produite par la fermeture et la rupture des courants est certainement le phénomène le plus étudié par les divers expérimentateurs qui ont abordé l'électricité biologique ; c'est une onde pareille qui a attiré l'attention de Galvani ; depuis lui, que de travaux ! et cependant nous allons voir combien la question est encore obscure. De nos jours, elle a pris une importance nouvelle en électrodiagnostique par suite des travaux de Erb qui a montré que la contraction musculaire provoquée par les ondes de fermeture et de rupture des courants subit des modifications profondes dans certains cas pathologiques. Voici, du reste, la définition donnée par Erb de ce qu'il appelle la réaction de dégénérescence et qu'il désigne par DR :

« La dégénérescence se caractérise en fait par la diminution et la perte de l'excitabilité faradique et galvanique des nerfs et de l'excitabilité faradique des muscles, tandis que l'excitabilité galvanique de ces derniers reste stationnaire et

qu'elle est augmentée parfois notablement et varie toujours qualitativement d'une façon déterminée ».

69. — Pour faire cette exploration Erb emploie la méthode unipolaire, et voici la manière dont il note les résultats de l'excitation galvanique.

La formule contient trois termes ; le premier donne le nom de l'électrode différente, c'est-à-dire de la petite électrode avec laquelle on excite un muscle ou un nerf déterminé.

An, pôle positif ou *Anode*
Ka, pôle négatif ou *Kathode*.

Le second terme dit si c'est une fermeture de courant, une ouverture ou un passage constant.

F, O ou D

Le troisième terme donne le résultat, secousse musculaire ou tétanos. Des accents ou des répétitions de lettres indiquent la grandeur de cet effet.

S, S′, S″ Té S, SS, SSS [1].

---

[1] Dans les ouvrages allemands, F est remplacé par S et, S par Z, initiales des mots allemands correspondants.

Ainsi, par exemple, pour deux intensités de courant différentes on aura

KaFS

et

KaFS′ AnFS AnOS

ce qui veut dire que pour la première intensité on n'a qu'une secousse à la fermeture, la Kathode étant appliquée sur l'organe. Pour la seconde intensité, la secousse est plus forte et on en a deux autres à la fermeture et à l'ouverture de l'Anode.

KaFS > AnFS

Cette formule signifie que la fermeture du courant produit une secousse plus forte quand l'électrode différente est négative que lorsqu'elle est positive.

Il ne manque qu'une indication, c'est celle de l'intensité du courant employé, Erb ne donne que le nombre d'éléments dont il se sert, ou écrit à côté de la formule l'angle de déviation produite à son galvanomètre, ce qui ne renseigne nullement le lecteur, et est fort étonnant de la part d'un homme qui proclame hautement qu'il n'y a que les Allemands qui aient fait quelque

chose pour l'électricité biologique ; il vaudrait mieux donner l'intensité en unités adoptées depuis 1881 au congrès de Paris.

Quant aux ondes induites et aux décharges de condensateurs, Erb admet comme évident qu'elles ont le même effet que des ondes de fermeture de courant ; la comparaison n'a pas encore été assez bien faite pour que l'on puisse se prononcer.

70. — Lorsque l'on agit directement sur le muscle, avec des ondes de fermeture ou des ondes de rupture les résultats se présentent sous une forme très simple, que l'on ait recours à l'excitation bipolaire ou unipolaire. Dans tous les cas, on a une secousse de fermeture plus grande que celle d'ouverture et naturellement cette dernière vient à manquer la première si l'on diminue peu à peu l'intensité du courant.

Si l'on agit par l'intermédiaire du nerf moteur, il n'en est plus de même ; les lois de l'excitation sont encore trop peu connues pour que l'on puisse comparer les expériences de la méthode bipolaire avec celles de la méthode unipolaire. Bien plus, les expérimentateurs qui ont employé l'une d'elles ne sont pas toujours d'accord ; cela tient à ce que par suite du défaut d'indications précises ils n'étaient pas dans les mêmes condi-

tions ; nous avons vu que le nerf n'était pas également excitable en tous ses points, et que, suivant la période de son dépérissement, l'excitabilité était augmentée ou diminuée : que de causes d'erreur !

71. — Prenons d'abord la méthode bipolaire. Les faits qui se présentent avec le plus de régularité dans les diverses observations correspondent à ce que l'on a appelé la loi des secousses de Pflüger.

Voici quelles sont les trois périodes établies par cet expérimentateur lorsque le courant va en croissant :

Périodes	Courant descendant		Courant ascendant	
	Fermeture	Ouverture	Fermeture	Ouverture
I	S	//	S	//
II	S	S	S	S
III	S	//	//	S

Nous ne pouvons malheureusement pas donner, dans ce tableau, une valeur numérique pour

les intensités de courant qui n'ont jamais été mesurées en unités comparables.

Le courant ascendant, provoque la contraction à la fermeture avant le courant descendant. Heidenhain, qui a étudié des courants très faibles, a résumé ses résultats dans le tableau suivant, où l'intensité la plus forte semble correspondre au courant II de Pflüger.

Périodes	Courant descendant		Courant ascendant	
	Fermeture	Ouverture	Fermeture	Ouverture
I	//	//	S	//
II	//	S	S	//
III	S	S	S	//
IV	S	S	S	S

Il est important dans ces expériences de faire toujours des opérations alternatives pour ne pas accumuler les effets de polarisation, il faut aussi opérer sur un nerf frais, car si le nerf dépérit on sait que son excitabilité commence par croître, puis va en diminuant ; aux diverses périodes on aura avec le même courant des effets différents. Par exemple, avec un courant convenablement choisi, on pourra observer successivement :

1° Pendant la période d'excitabilité croissante du nerf :

Expériences	Courant descendant		Courant ascendant	
	Fermeture	Ouverture	Fermeture	Ouverture
a	//	//	S	//
b	S	//	S	//
c	S	S	S	S

2° Pendant la période décroissante (Nobili) :

Expériences	Courant descendant		Courant ascendant	
	Fermeture	Ouverture	Fermeture	Ouverture
c	S	S	S	S
d	SS	S	//	SS
e	SS	//	//	SS
f	S	//	//	//
g	//	//	//	//

72. — M. Chauveau a étudié d'une façon très complète les résultats de l'excitation unipolaire et donné ses résultats au moyen de courbes, ce qui est bien préférable aux tableaux.

Pour les courants de fermeture, l'excitation

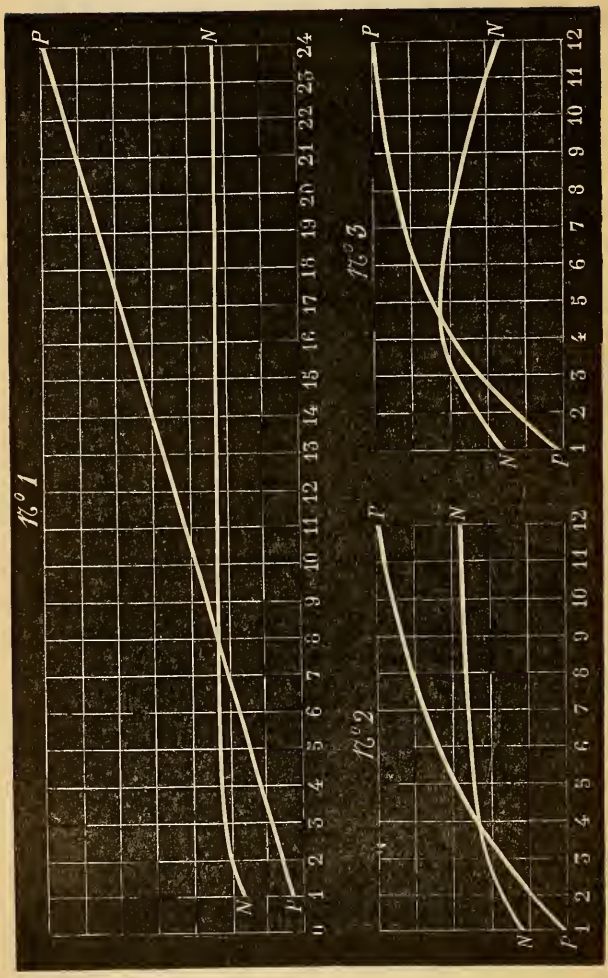
positive croît toujours avec l'intensité du courant, quelquefois, d'une manière presque linéaire. L'excitation négative croît d'abord, puis reste stationnaire, parfois même elle décroît. Dans tous les cas, il y a un point neutre pour lequel l'excitation positive et l'excitation négative se valent..

Pour les courants de rupture, on trouve des courbes inverses des précédentes ; la contraction de rupture apparaît d'abord avec le pôle positif. M. Chauveau a du reste observé que l'apparition de cette contraction de rupture positive est en corrélation intime avec la position du point neutre, elle apparaît presqu'en même temps ; ces résultats s'appliquent à l'homme et aux animaux. La sensibilité est affectée d'une manière inverse, l'action est représentée par les mêmes courbes que pour l'excitabilité à la contraction, en prenant la courbe positive pour l'électrode négative et inversement.

Erb, qui a étudié les effets de l'excitabilité unipolaire sur l'homme, a donné des résultats beaucoup moins complets dans sa notation ; il admet trois degrés d'excitabilité quand le courant va en croissant.

1. KaFS
2. KaFS′ et AnFS AnOS

Fig. 44



Ces deux derniers apparaissent dans un ordre différent suivant les nerfs sur lesquels on opère; Erb l'attribue à une disposition anatomique.

3. KaFTé AnFS AnOS KaOS faible

En cherchant à comparer entre eux les effets obtenus avec un même courant, il arrive à représenter la grandeur des secousses par les chiffres approximatifs suivants :

KaFS = 4 AnFS = 2 AnOS = 2 KaOS = 1

On voit qu'il n'est pas question ici de point d'inversion. Enfin, en agissant directement sur le muscle, on aurait des KaFS et AnFS équivalents et très rarement KaOS et AnOS.

Erb recommande pour observer les contractions à l'ouverture des courants de laisser le circuit fermé un certain temps, les contractions sont alors plus fortes; cela est possible, mais elles ne sont plus normales par suite des modifications produites dans les tissus par le courant continu. Au point de vue physiologique, il faut chercher à éviter ces actions autant que possible.

En produisant une rupture aussitôt après la fermeture, on n'a souvent qu'une excitation et par suite une contraction unique; il faut cepen-

dant que la durée du passage du courant ne devieune pas par trop faible. Ainsi que Helmholtz et Kœnig l'ont démontré, lorsque la durée de l'excitation devient inférieure à 0,0015 de seconde le muscle ne répond plus. D'après Fick, en augmentant graduellement cette durée du passage, il y aurait une certaine période dans le courant ascendant pour laquelle l'excitation serait nulle alors que, à intensité égale du courant, elle se produirait pour des durées de passage plus longues ou plus courtes. On retomberait dans ce que l'on appelle la lacune dont nous parlerons plus loin.

On voit combien ces faits sont difficiles à coordonner et combien on est loin encore d'avoir une loi générale permettant de connaître les conditions dans lesquelles la contraction musculaire est provoquée ; voici un certain nombre de faits sur lesquels on s'est basé pour établir diverses théories mises en avant.

Pour le muscle comme pour le nerf, l'excitation de fermeture naît au pôle négatif, l'excitation de rupture au pôle positif. Sur le muscle le fait se met en évidence en prenant des tracés de l'onde musculaire en deux points d'un muscle à fibres parallèles, tantôt une secousse, tantôt l'autre se trouve être la première suivant la loi

indiquée. Pour le nerf, l'expérience est un peu plus délicate ; Von Bezold a constaté que le temps de l'excitation latente n'était pas le même à la rupture et à la fermeture dans la méthode bipolaire ; la différence entre les deux temps perdus correspondait précisément au temps nécessaire pour la transmission nerveuse d'une électrode à l'autre. Pflüger a exprimé le même fait en disant que les causes d'excitation sont l'apparition du catelectrotonus et la disparition de l'anelectrotonus ; c'est peut-être s'avancer beaucoup, les deux phénomènes peuvent se produire en même temps sans que l'un soit la cause de l'autre.

Nous avons déjà vu qu'on attribuait une modification de la conductibilité nerveuse aux points d'application des électrodes, que par exemple, au pôle positif il pouvait y avoir jusqu'à une interruption complète, ce que l'on a appelé une section physiologique.

Enfin remarquons que lorsqu'on opère sur des nerfs coupés, l'irritabilité est plus grande près de la section que près du muscle.

En se servant de ces divers faits on a pu échafauder des théories qui ont du reste toutes été vivement attaquées par les physiologistes qui ne les avaient pas imaginées ; aucune d'elles n'est

exempte d'hypothèses plus ou moins problématiques.

73. Ondes induites et décharges de condensateurs. — Passons maintenant au cas où l'organe se trouve dans le même état avant et après l'excitation, par exemple où l'on a employé des ondes induites de rupture ou de fermeture ou des décharges de condensateurs.

Les résultats que l'on obtient avec les ondes induites ou les décharges de condensateurs sont très analogues à ceux de l'onde de fermeture des courants. Ainsi dans la méthode unipolaire, la contraction apparaît plus tôt avec le pôle négatif qu'avec le pôle positif, mais l'inversion se produit plus rarement ; on arrive à un maximum qu'on ne peut dépasser ; à partir de ce moment l'accroissement d'excitation produit seulement un relâchement plus lent du muscle, la courbe revient plus lentement à l'axe des abcisses. Un des caractères les plus remarquables est la différence d'action suivant que l'on agit sur des grenouilles intactes ou des grenouilles mutilées, par section de la moelle ou du nerf excité. Dans le premier cas, les tracés sont très peu réguliers, ils sont d'une régularité parfaite au contraire dans le second. Considérons maintenant

l'excitation bipolaire, l'excitation ascendante produit son effet la première, et lorsque la contraction a lieu pour les deux sens, l'onde descendante garde un caractère d'infériorité, à la condition d'opérer sur des nerfs frais, car le dépérissement a pour effet de causer souvent un renversement de sens du phénomène.

Prenons d'abord les excitations descendantes ; en les faisant croître régulièrement on constate une augmentation de secousses jusqu'à un maximum à partir duquel elles ne croissent plus que comme durée, la courbe est plus longue. Fick dit avoir observé qu'en continuant à faire croître les excitations, il arrive un moment où l'on obtient un nouvel accroissement et un nouveau maximum ; il a donné à ces contractions le nom de secousses supra-maximales. Bien des expérimentateurs ont cherché à les reproduire sans pouvoir y arriver, de sorte qu'il y a lieu de se demander s'il ne s'agit pas simplement d'un défaut de l'appareil de Fick.

Pour le courant ascendant on observe une particularité remarquable, c'est le phénomène de la lacune ; quand on prend des excitations croissantes, par exemple des décharges de condensateur, il y en a un certain nombre qui n'ont pas d'effet, alors que toutes celles plus fortes ou

plus faibles provoquent la contraction. La lacune est d'autant plus grande que la quantité d'électricité en jeu l'est, il peut même y avoir disparition complète de la contraction au delà d'un certain point. Le même phénomène s'observe avec toutes les ondes dites instantanées, par exemple avec les ondes de fermeture des courants. M. Charbonnel-Salle à observé que dans le même intervalle le courant descendant a une activité plus grande. On n'a donné aucune explication satisfaisante de ce phénomène, celles mises en avant sont basées sur les faits déjà cités à propos des effets des ondes de rupture et de fermeture des courants ; activité spéciale des deux pôles, action sur la conductibilité nerveuse.

Outre les résultats que nous venons d'exposer, il se pose dans l'étude des ondes uniques deux problèmes de la plus haute importance.

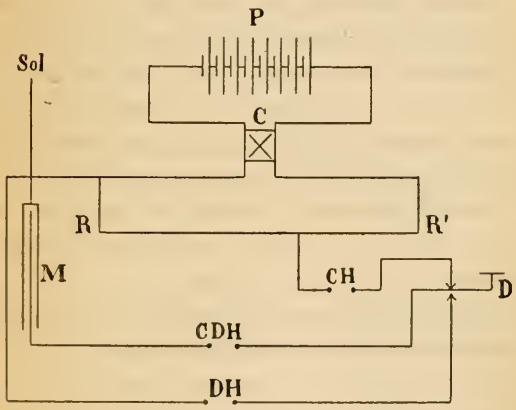
1° Pouvoir spécifier l'onde dont on se sert de façon à ce que tout observateur puisse la reproduire.

2° Etudier comment la contraction musculaire est liée à la forme de l'onde excitatrice.

74. Premier problème. — On a proposé diverses solutions de cette question, cependant elle est très loin d'être résolue d'une façon par-

faite. Il faut avant tout éliminer les phénomènes d'induction, quelque précises que soient les indications que l'on puisse donner, il est difficile d'après une description de faire une bobine d'induction identique à une bobine donnée. La solution la plus satisfaisante repose sur l'emploi des condensateurs chargés à un potentiel déterminé ; on peut utiliser l'onde de décharge, l'onde de charge ou les deux. Voici le dispositif expérimental donné par M. Charbonnel-Salle.

Fig. 45



Une pile P fermée sur un fil conducteur RR' donne le long de ce fil une distribution de po-

tentiel linéaire. Un point de ce fil peut être mis en communication avec le condensateur M à l'aide de la clef de Sabine D ; et, suivant que l'on placera l'organe en expérience en CH, DH ou CDH, il sera traversé par la charge seule du condensateur, la décharge seule ou les deux; en général c'est cette dernière disposition qu'il faut adopter pour éviter l'accumulation des effets chimiques. On fait varier la quantité d'électricité en jeu soit en modifiant la capacité du condensateur soit en déplaçant le contact du fil de charge sur RR', En reliant l'extrémité R à la terre au lieu d'y mettre un des pôles de la pile comme l'a fait M. Charbonnel-Salle, on peut utiliser des charges positives ou négatives du condensateur en tournant le commutateur C, ce qui peut être utile pour certaines vérifications. Cet appareil semble absolument déterminé lorsqu'on donne la constitution de chacune de ses parties ; malheureusement il n'en est rien, la résistance des tissus influe sur la forme de l'onde de charge ou de décharge ; ainsi, pour n'en citer qu'une particularité au commencement de la charge ou de la décharge, l'intensité du courant passe brusquement de zéro à une valeur i qui est en raison inverse de la résistance du fil. Si donc on désire employer cette méthode, il faut ajouter aux tis-

sus en expérience une certaine résistance assez grande, on s'arrangera de façon à ce que la résistance du circuit soit par exemple toujours de 100,000 ohms, de cette façon les petites variations dues aux tissus n'auront pas d'influence notable. Il faudra avoir grand soin de prendre des résistances sans self-induction ni capacité appréciable.

75. — Une autre méthode a été proposée par M. d'Arsonval dans le but d'éviter les polarisations qui se produisent dans les tissus sous l'influence de décharges de même sens répétées. Au lieu de décharger directement le condensateur dans l'organe en expérience, cette décharge s'opère à travers le circuit primaire d'une bobine d'induction sans fer doux ; elle donne lieu dans le circuit secondaire à une onde directe et une onde inverse, et c'est à leur aide que l'excitation se fait. D'après des tracés comparatifs, on peut voir que de cette façon on obtient pendant un temps bien plus long des contractions identiques pour une excitation donnée. Cette méthode peut rendre de réels services dans certains cas particuliers, mais chaque fois que l'on ne désirera pas opérer sur le même muscle ou le même nerf pendant un temps fort long, la méthode pré-

cédente est préférable, car la mèthode d'Arsonval offre les mêmes inconvénients qu'elle. De plus, l'utilisation d'une bobine d'induction avec ou sans fer doux, rend les expériences encore plus difficilement comparables, on peut même dire que cela devient pratiquement impossible. Enfin on ne peut séparer les excitations ascendantes et les excitations descendantes, ce qui dans beaucoup de cas est capital ; on a chaque fois les deux excitations provoquant une seule secousse. Dans la méthode du condensateur simple, on évite presque complètement l'effet des actions chimiques en alternant toujours le sens des excitations, par exemple en utilisant la charge et la décharge du conducteur ; cependant si on voulait étudier les modifications de la contraction musculaire sous certaines influences assez longues à se produire, la méthode d'Arsonval serait préférable.

76. Deuxième problème. — La deuxième question qui se pose dans l'effet des ondes a été relativement peu étudiée jusqu'ici. Etant donnée une onde électrique, quels sont les éléments de cette onde qui influent sur l'excitation des nerfs ou des muscles, comment cette excitation est-elle déterminée. Bien entendu dans cette étude, il

faut supposer que toutes les autres conditions restent les mêmes, tant comme préparation que comme emplacement des électrodes.

Comme nous l'avons dit plus haut, certains physiologistes pensent que l'élément important, celui qui cause l'excitation est la variation de potentiel au point d'application d'une électrode ; ils sont ainsi conduits à employer la méthode unipolaire pour ne pas superposer l'effet des deux pôles. Le passage du courant ne fait pour eux que troubler le phénomène, en faisant sortir les tissus de leur état normal.

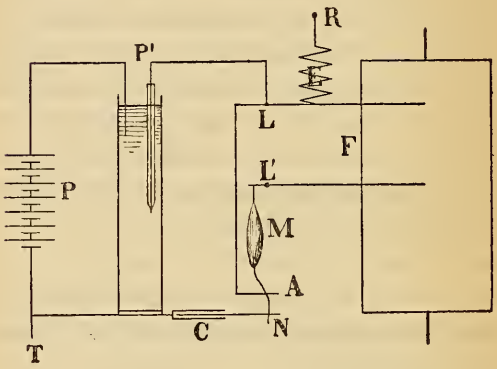
77. — Voici le dispositif imaginé par M. d'Arsonval pour réaliser diverses formes d'excitations dans ces conditions :

L'appareil se compose d'une pile P fermée sur un tube de verre plein d'une solution de sulfate de cuivre. Un des pôles de la pile est mis à terre T. Le potentiel va donc en décroissant graduellement d'une valeur maxima à zéro dans l'intérieur de la solution cuivrique : Un levier mobile autour du point L porte un fil de cuivre P′ isolé jusqu'à sa pointe, dont les mouvements sont solidaires de ceux du levier L.

En faisant osciller ce levier au moyen d'un ressort R, on fait plonger plus ou moins le fil P′

dans le tube et on change ainsi son potentiel graduellement. On voit également que les dé-

Fig. 46



placements de la pointe du levier L sur le cylindre F, traduisent graphiquement les variations du potentiel. La courbe ainsi tracée est la caractéristique d'excitation. Le fond du tube est mis en rapport avec l'une des faces d'un condensateur C de capacité connue, l'autre face est mise en communication par exemple avec le nerf moteur N du muscle M et revient de là au levier et au plongeur P'.

On voit que pour une même amplitude de la

course du levier L le nerf sera traversé par une quantité d'électricité toujours la même; et on peut faire varier :

1° La quantité d'électricité en changeant la surface du condensateur C ;

2° Le potentiel en modifiant le nombre des couples de la pile P ;

3° Les phases de variations de potentiel en changeant la loi de déplacement du plongeur P'.

Voici les résultats donnés par M. d'Arsonval comme conclusion de ses expériences :

Le nerf est surtout sensible à la rapidité des variations de potentiel. Il est d'autant plus vivement excité que l'angle que fait l'origine de la caractéristique avec l'axe des y est plus petit et que la caractéristique est moins étalée sur l'axe des x. La quantité d'électricité traversant le nerf influe peu sur le résultat. Pour le muscle, au contraire, il faut étaler la caractéristique, allonger, en un mot, la durée de la décharge et donner de la quantité.

78. — Il est impossible d'entrer ici dans une étude approfondie de la question, il nous suffira de dire que l'appareil de M. d'Arsonval ne donne que le potentiel et ses variations au point où

l'électrode A touche le nerf, et cela à la condition que la résistance entre A et le plongeur soit négligeable, ce qui n'a pas lieu en général avec les électrodes d'Arsonval.

Quant à vouloir déduire de la caractéristique quoi que ce soit de ce qui se passe au-delà du point A, cela est impossible ; ainsi à une même amplitude de la course du levier L ne correspond pas la même quantité d'électricité allant au condensateur, cette quantité dépend de la loi du déplacement ; de plus, pour des déplacements absolument identiques, les quantités d'électricité en jeu ne varient nullement comme la capacité du condensateur aussitôt que la résistance totale du circuit, électrodes et tissus, n'est pas négligeable.

Voici, par exemple, un résultat du calcul pouvant donner une idée des écarts :

En admettant que le plongeur se déplace d'un mouvement uniforme du haut en bas de la colonne de sulfate de cuivre en $\frac{1}{100}$ de seconde et que la différence de potentiel entre le haut et le bas soit de 10 volts, la résistance totale du circuit, électrodes et nerfs, étant de 15000 ohms, on devrait avoir pour les diverses capacités indiquées dans la première colonne du tableau des quantités d'électricité indiquées dans la seconde,

au lieu de cela on obtient les quantités indiquées dans la troisième colonne.

Capacités de C en microfarads	Quantités que devrait prendre C en millionièmes de coulomb	Quantités que prend C en millionièmes de coulomb
$\frac{1}{10}$	1	0,8
$\frac{1}{4}$	2,5	1,8
1	10	2
10	100	2,46

On voit que l'erreur croît dans des proportions énormes avec la capacité du condensateur. Les différentes expériences ne sont pas comparables, car les divers tissus n'ont pas la même résistance; si l'on veut éliminer cette erreur par la méthode consistant à introduire dans le circuit une résistance considérable, les écarts signalés dans le tableau deviennent encore plus grands.

M. d'Arsonval veut supprimer le condensateur et mettre le point L à terre à travers le circuit primaire d'une bobine d'induction, il se sert alors de l'onde induite pour exciter le nerf. Dans ce cas, non-seulement toutes les erreurs

précédentes persistent, mais on n'a plus absolument aucun renseignement sur l'onde utilisée, car il y a une relation très compliquée entre cette onde et la caractéristique d'excitation.

79. — Au lieu de prendre la caractéristique d'excitation de M. d'Arsonval, on peut considérer comme important de connaître la loi $\mathbf{i} = f(t)$ des variations de l'intensité, ou bien $\mathcal{E} = f(t)$ $\mathcal{E}$ étant la différence de potentiel entre les deux points d'application des électrodes, ou aux extrémités du circuit, si, pendant l'expérience, on ne change rien à sa constitution. On peut d'ailleurs employer la méthode unipolaire pour faire la part des électrodes ou la méthode bipolaire pour avoir l'effet total. Ainsi que nous l'avons dit plus haut, on ne peut, dans l'état actuel de nos connaissances sur le mécanisme de la contraction musculaire, décider si celle-ci dépend directement de $\mathcal{E}$ ou de $\mathbf{i}$, mais ces courbes ne diffèrent que par une constante dans le cas où la polarisation intérieure des tissus est nulle. Cela n'est pas le cas rigoureusement, mais l'écart est faible. En général, on est assez mal renseigné sur la résistance des tissus sur lesquels on opère, on ne la connaît qu'approximativement, on introduit alors dans le circuit, comme nous l'avons dit, une ré-

sistance très grande, sans self-induction ni capacité appréciables. Pour arriver aux mêmes valeurs de i on est obligé de forcer $\mathcal{E}$ aux extrémités du circuit, or l'erreur due à la polarisation est toujours la même en valeur absolue, l'erreur relative commise en prenant i ou $\mathcal{E}$ devient par suite de plus en plus petite et il est facile de la rendre absolument négligeable. Par conséquent, dans les expériences de ce genre, sur un muscle ou un nerf déterminé, les électrodes occupant des places déterminées, on pourra, dans des expériences comparatives, prendre à volonté $i = f(t)$ ou $\mathcal{E} = f(t)$, $\mathcal{E}$ étant la différence de potentiel aux extrémités du circuit, et selon qu'il sera plus commode, déterminer l'une ou l'autre de ces fonctions.

Dans cette étude, on peut opérer par analyse ou par synthèse ; la première méthode consiste à employer les diverses ondes que l'on peut obtenir par des décharges de condensateur, des phénomènes d'induction, etc. et à déterminer leur forme. Frölich a imaginé une méthode consistant à lancer l'onde à étudier à travers un téléphone sur la membrane duquel était fixé un petit miroir. L'image d'un point lumineux était regardée dans ce miroir et un autre miroir tournant, et de la courbe Frölich déduisait la forme

de l'onde. Cette méthode est rapide, mais elle est sujette à bien des erreurs et ne peut servir à faire des mesures, ainsi que l'a fait voir M. Blondel.

M. d'Arsonval a modifié cette méthode pour l'enregistrement graphique en transmettant, à l'aide d'un système de tambour de Marey, le mouvement d'un cadre mobile sous l'action du courant, mais les objections à faire sont les mêmes que pour la méthode primitive de Frölich.

80. — On peut déterminer l'onde par une méthode différentielle consistant à en laisser passer une fraction seulement pendant un temps t, puis une autre fraction pendant un temps $t + dt$. On a ainsi les quantités d'électricité ayant passé aux temps $0 - dt$, $dt - 2dt$, etc., et par une construction graphique ou une formule empirique, on peut déterminer la forme de l'onde. Il suffit, par exemple, de placer les uns à côté des autres une série de petits rectangles ayant comme surface les valeurs successives des quantités d'électricité trouvées et de mener une ligne continue par le

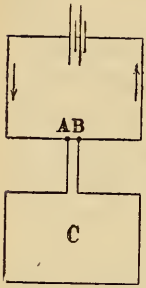
Fig. 47

milieu des bases supérieures. Naturellement, l'approximation est d'autant plus grande que les valeur de *dt* sont plus petites. Pour effectuer ces déterminations, on fait usage du galvanomètre balistique, et il s'agit de rompre et de fermer un circuit à un moment précis; l'imagination de chacun peut se donner libre carrière ici. Helmholtz faisait fermer ou rompre les contacts par un pendule très lourd, d'autres ont employé un disque tournant. On a un appareil peu encombrant et facile à manœuvrer en prenant un chariot glissant entre deux rails verticaux, par exemple un long banc de diffraction; dans sa chute le chariot effectue les fermetures ou ruptures nécessaires en heurtant des leviers que l'on peut placer à diverses hauteurs. On a, approximativement, la vitesse du chariot par la hauteur de chute et, exactement en y traçant une courbe à l'aide d'un diapason fixe. Cet appareil est très commode, il permet de faire un grand nombre de recherches d'électrophysiologie dans lesquelles le temps intervient. M. Pellin m'en a construit un modèle qui fonctionne très bien.

Les ruptures du courant se font toujours d'une façon précise car on a de faibles potentiels, par suite pas d'étincelles, mais les fermetures sont souvent moins régulières. Un artifice per-

met dans le plus grand nombre des cas de remplacer une fermeture de courant par une rupture ; pour cela on établit une communication entre deux points A et B situés de chaque côté de la pile employée ; pour lancer le courant dans le circuit A C B, il suffit de rompre la communication AB.

Fig. 48



81. — Cette méthode d'analyse indispensable lorsqu'on veut étudier certains appareils livrés par le commerce, a un certain nombre d'inconvénients lorsque l'on veut étudier l'influence de la forme de l'onde électrique sur la contraction musculaire ; le plus grave est qu'on ne dispose pas à volonté de la forme de ces ondes ; on se trouve en présence de cas très compliqués dont il est difficile de tirer un résultat. Ainsi considérons les décharges de condensateurs. D'après les recherches de MM. Cailho et de Nerville et de M. Pellat, elles sont très bien connues quand les deux armatures sont mises en communication par des conducteurs sans self-induction, ce qui est précisément le cas qui nous intéresse. Or, il est extrêmement

difficile de tirer une conclusion de l'étude de ces décharges, car au commencement il y a une variation brusque dans l'intensité du courant, pendant laquelle on ne sait ce qui se passe, et il est probable que c'est précisément cette phase de la décharge qui produit l'excitation des nerfs. Voici cependant un résultat qui mérite d'être signalé en faveur de la caractéristique d'excitation $\mathbf{i} = f(t)$. La loi de décharge des condensateurs est donnée par la formule $\mathbf{I} = \frac{\mathcal{E}}{\mathbf{r}} e^{-\frac{t}{\mathbf{Kr}}}$, $\mathcal{E}$ étant la différence de potentiel des deux armatures, $\mathbf{K}$ la capacité du condensateur, $\mathbf{r}$ la résistance du circuit de décharge. Si l'on vient à faire varier $\mathcal{E}$, $\mathbf{r}$ et $\mathbf{K}$ de façon à ce que $\frac{\mathcal{E}}{\mathbf{r}}$ et $\mathbf{Kr}$ restent constants, on voit que l'on ne change rien à la loi de $\mathbf{I}$ et dans ces conditions l'expérience fait voir que l'on obtient la même contraction, que l'on agisse d'ailleurs sur le nerf ou sur le muscle.

Il faut chercher à faire des ondes simples par synthèse.

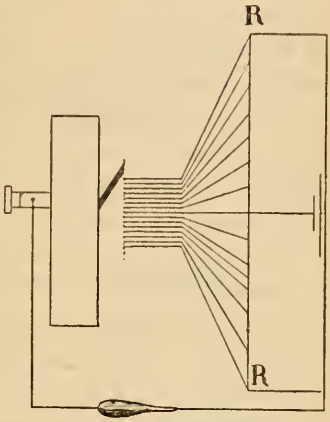
On pourrait se servir de l'appareil de M. d'Arsonval en supprimant le condensateur et mettant le point L directement à terre à travers le nerf ou le muscle, mais on peut faire à ce dispositif

plusieurs objections. Entre autres, pour avoir des ondes de formes diverses, il faut faire varier la loi du mouvement du plongeur, ce qui n'est pas extrêmement facile à l'aide d'un ressort.

82. — Au lieu de cela, on peut monter un balai sur le chariot de l'appareil à chute décrit plus haut, ce balai frotte au passage sur un collecteur composé de lames de cuivre épaisses d'un demi millimètre environ, et séparées par du papier paraffiné. La surface est parfaitement dressée et polie, les lames sont en communication avec les divers points d'un rhéostat parcouru par un courant allant du milieu du fil aux deux extrémités R fig 49. On voit que lorsque le balai passera de la lame supérieure à la lame inférieure, le courant ira en croissant de zéro à un maximum pour revenir ensuite à zéro ; la loi de variation dépend d'ailleurs des points d'attache des lames aux divers points du rhéostat. Cet appareil permet de réaliser une onde quelconque déterminée d'avance, on ne pourrait lui faire qu'une objection ; le courant ne varie pas d'une façon insensible mais par petits coups, la courbe est en escalier, est-ce seulement la résultante totale qui agit ou ces degrés ont-ils quelque influence ? Il est facile de vérifier que c'est la résultante

seule qu'il faut considérer, car en rompant les communications des lames avec le rhéostat de deux en deux et en mettant les deux lames successives en communication, on double la grandeur des degrés de l'escalier et l'expérience démontre que cela n'influe en rien sur la contraction provoquée par l'onde ainsi constituée ; tel est au moins le résultat obtenu avec un collecteur de quarante lames, il est possible qu'il n'en soit plus ainsi avec un nombre de lames trop faible.

Fig. 49



83. — Nous ne pouvons rappeler ici les divers arguments apportés en faveur ou contre les diverses caractéristiques d'excitation. Rappelons seulement que le principal argument de M. d'Arsonval contre $i = f(t)$ d'après lequel un con-

rant constant produirait des effets différents à intensité égale, suivant la force électromotrice employée, ne paraît pas fondé ; il est du reste aisé pour chacun de vérifier le fait. En second lieu lorsqu'on provoque la contraction musculaire par la méthode bipolaire en agissant sur le nerf, l'amplitude de la contraction croît avec la longueur du segment interpolaire. On a objecté, il est vrai, que, dans un nerf, il y avait des points d'excitabilité variable, mais M. Charbonnel-Salle après une étude sérieuse de la question a rejeté cette objection ; il en résulte que les pôles ne sont pas seuls actifs.

En tous cas l'expérience suivante semble prouver d'une façon indiscutable qu'on ne peut attribuer l'excitation à la variation de potentiel au point de contact des électrodes :

Mettons dans un même circuit une pile, un interrupteur et une grenouille préparée pour l'excitation bipolaire ou unipolaire. Produisons des excitations de rupture ou de fermeture en mettant divers points du circuit à terre ; nous aurons toujours la même contraction, quel que soit le point du circuit à terre, c'est-à-dire, par exemple, dans la méthode unipolaire, quelle que soit la variation du potentiel au point d'application de l'électrode différente.

CHAPITRE IV

—

COURANTS PÉRIODIQUES

84. Effet des courants périodiques. — Supposons qu'une onde électrique déterminée produise une secousse musculaire, si nous lançons périodiquement une onde par seconde, nous aurons une secousse par seconde.

En augmentant le nombre d'excitations nous voyons non seulement le nombre de secousses aller augmentant, mais les diverses contractions se fusionner de plus en plus jusqu'à un raccourcissement permanent, correspondant à environ une vingtaine d'excitations par seconde ;

on dit alors que le muscle est tétanisé. Il peut arriver qu'une onde ne produisant pas de secousse musculaire agisse alors qu'elle se répète périodiquement, il suffit parfois de la lancer à des intervalles d'une seconde ou d'une demi-seconde pour qu'à chaque excitation corresponde une contraction.

A partir du moment où le muscle est tétanisé, les phénomènes d'excitation vont encore en augmentant avec le nombre des ondes, mais pas indéfiniment. Elihu Thompson a fait voir que lorsque le nombre des ondulations est très considérable, les phénomènes d'excitation ne se produisent plus. M. d'Arsonval a repris cette étude et est arrivé aux mêmes résultats. D'après ce dernier, l'action va en croissant jusqu'à 2500 ou 3000 excitations par seconde, elle reste stationnaire jusqu'à environ 5000 et de là va en décroissant jusqu'à 10000 où elle est nulle. Il n'y aurait au delà de 10000 excitations plus de contraction ni de sensation, mais le muscle téléphonique, décrit à propos du temps perdu, continuerait à reproduire exactement le nombre de vibrations.

M. d'Arsonval a fait ces expériences en se servant d'une machine dynamo à courants alternatifs dont l'onde passait par le circuit primaire

d'une bobine d'induction ; le courant secondaire obtenu servait à l'excitation. Pour expérimenter avec un nombre d'ondes par seconde très considérable, M. d'Arsonval employa un résonnateur de Hertz donnant 20 à 25 billions de vibrations à la seconde et il constata que les étincelles obtenues n'excitaient pas la grenouille et ne produisaient aucun phénomène sensitif ; M. Joubert était arrivé aux mêmes résultats.

Si, au lieu de prendre un courant périodique très rapide, on le prend assez lent, on arrive à ne plus provoquer la contraction musculaire, mais il y a alors, d'après M. d'Arsonval, augmentation des phénomènes d'échange se traduisant par une absorption plus grande d'oxygène et une élimination plus considérable d'acide carbonique :

85. Dispositifs divers donnant des courants périodiques. — Étudions maintenant les divers dispositifs donnant des courants périodiques ; cette récapitulation est des plus importantes, car dans l'état peu avancé de nos connaissances, sur l'effet des courants périodiques, on s'expose souvent à mettre en regard des expériences non comparables, d'où des confusions et des discussions interminables.

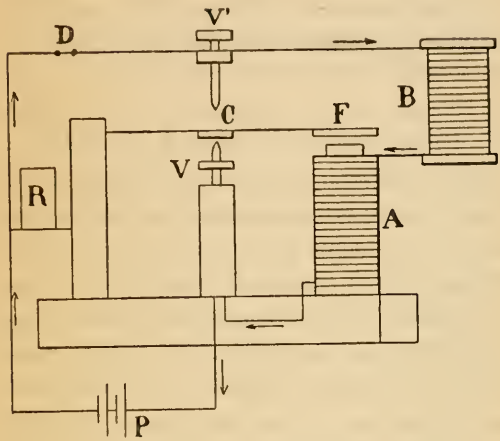
Un des appareils les plus employés par les

physiologistes dans leurs expériences d'électricité est la bobine d'induction, généralement sous la forme dite « Chariot de Dubois-Reymond ». Si la bobine d'induction peut être employée dans la pratique médicale ; si même un expérimentateur habile peut en tirer de bons résultats dans les expériences de laboratoire, il n'y a pas cependant d'appareil plus dangereux au point de vue des erreurs que l'on peut commettre.

Comme on sait, la bobine de Ruhmkorff et ses dérivés donnent des courants alternatifs ; or, un premier défaut au point de vue des applications à l'électrophysiologie réside dans l'inégalité de l'onde directe et de l'onde inverse, non pas comme quantité d'électricité mise en jeu, mais comme forme d'onde, cela est souvent désavantageux et Helmholtz a cherché à y remédier au moyen du dispositif suivant : Au lieu d'interrompre complètement le courant inducteur, il fait simplement varier son intensité à l'aide d'une dérivation. Dans la disposition indiquée sur la *fig.* 50 le courant, après avoir passé dans la bobine B, traverse un électro-aimant A et retourne à la pile, A attire le fer doux F et produit un contact en C, une partie du courant est dérivée à travers la résistance R. En disposant convenablement les résistances des di-

verses branches, on arrive à rendre les courants direct et inverse sensiblement égaux. Si l'on

Fig. 50



veut que l'interrupteur fonctionne comme d'habitude, il suffit de rompre le circuit en D et d'abaisser la vis V′ au contact de la lame vibrante; on enfoncera aussi la vis V pour éviter les contacts.

Un autre inconvénient de l'interrupteur, plus grave que le précédent, est la modification que subit sa marche quand pour une raison quelconque le courant induit varie d'intensité ; le

fait est facile à mettre en évidence. Lorsqu'une bobine marche, il suffit de fermer ou d'ouvrir le circuit induit, ou de faire varier les résistances intercalées, pour entendre aussitôt changer le son du trembleur. Dans un chariot de Dubois-Reymond, sans rien modifier aux résistances, la bobine induite étant reliée aux corps sur lesquels on veut opérer, tout déplacement de la bobine modifie la marche du trembleur.

Enfin, ajoutons que nous n'avons aucun moyen de mesure ; les diverses bobines ne sont pas comparables entre elles par suite du grand nombre d'éléments dont dépend l'onde induite. Parmi ces éléments il n'y en a guère qu'un sur lequel on ait quelques renseignements, je veux parler du fil de la bobine induite. Je ne m'arrêterai pas à l'opinion de M. Onimus qui attache la plus grande importance à la nature du métal dont est fait le fil et recommande spécialement l'argent allemand ; ce qui paraît établi c'est que pour produire la même contraction, toutes choses égales d'ailleurs, les phénomènes douloureux sont d'autant plus intenses que le fil induit est plus fin ; cependant on peut modifier cet effet, comme l'a fait voir M. d'Arsonval en étalant l'onde induite, il suffit pour cela de relier aux extrémités du fil induit les deux armatures d'un

condensateur de grande surface, de $\frac{1}{10}$ de microfarad à un microfarad. Je cite seulement ce fait qui a son intérêt dans la pratique d'électrothérapie.

En somme, il faut être très circonspect dans l'emploi des bobines d'induction en physiologie.

86. — On obtient aussi des courants périodiques en faisant des interruptions sur un circuit contenant une pile, à l'aide d'une roue de Masson par exemple, ou d'un diapason pour des périodes rapides. Ces courants ne doivent être employés que pour des études tout à fait spéciales, car ils donnent lieu à une accumulation d'effets chimiques comme les courants constants et, en général, on doit éviter le plus possible ces actions ; mais on peut tirer de bons résultats d'interrupteurs inverseurs. Ainsi on peut, comme l'a fait M. d'Arsonval, rattacher le milieu d'une pile à un diapason entretenu électriquement, dont une des branches fait des contacts alternatifs avec les deux extrémités de la pile ; la *fig.* 51 fait voir que le fil reliant le diapason au milieu de la pile est parcouru par des courants alternatifs ; il est bien évident que cet appareil demande un réglage soigné des contacts C et C′, de façon à ce que les deux courants inverses aient la même

valeur, ce que l'on constate en faisant passer le courant alternatif dans un voltamètre. Il ne doit

Fig. 51

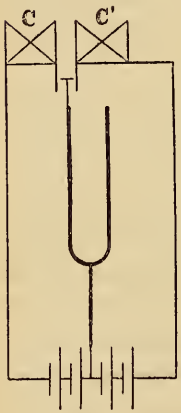
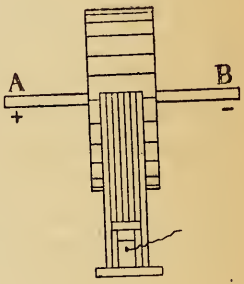


Fig. 52



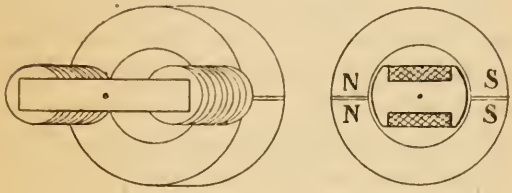
pas produire de dégagement de gaz si les lames de platine n'ont pas de dimensions par trop petites.

On peut aussi prendre une roue en ébonite montée sur un axe dont les deux côtés A et B sont isolés l'un de l'autre, portant des contacts en cuivre alternativement reliés au côté A et au côté B. Les deux pôles d'une pile sont en communication avec le côté A et le côté B, deux ba-

lais servent à prendre les contacts, on a ainsi renversement du sens du courant chaque fois que les balais passent d'un secteur sur l'autre, et si tous les secteurs sont bien égaux, les deux ondes s'annulent.

Ces appareils peuvent donner de très bons résultats ; en tous cas on est renseigné sur les on-

Fig. 53



type 1 type 2

des qu'on emploie, ce qui est indispensable dans une étude sérieuse.

Fig. 54 Fig. 55

87. — Les machines magnéto-électriques peu-

vent rendre de grands services en électrophysiologie, pourtant jusqu'ici elles ont été relativement peu employées. Qu'elles soient du type Clarke ou du type Siémens, elles sont également bonnes, mais il y a avantage lorsqu'on ne désire pas redresser le courant, ce qui est généralement le cas, à rendre les bobines fixes et le champ mobile comme dans la machine de Pixii ; on évite ainsi les irrégularités dues aux frotteurs. D'après M. d'Arsonval, il y aurait intérêt à donner à l'aimant une forme circulaire, les deux pôles étant aux extrémités d'un diamètre et la rotation s'effectuant autour de l'axe de révolution ; les courbes des autres machines présenteraient des irrégularités qu'on n'aurait pas de cette façon fig. 54 et fig 55. On peut mettre les bobines devant l'aimant comme dans le type (1) ou à l'intérieur comme dans le type (2).

Les machines magnéto-électriques ont l'avantage de donner des ondes qu'il est possible de déterminer avec une précision très suffisante en électro physiologie ; la méthode de Guillemin ne peut être utilisée, il faut employer le procédé de M. Joubert consistant à déterminer la loi de la différence de potentiel aux bornes de la machine. Si, comme c'est le cas, dans les expériences d'électro physiologie, on n'a dans le circuit extérieur

qu'une capacité et une self-induction négligeables, l'intensité du courant est à chaque instant donnée, à une constante près, par la même courbe que la différence de potentiel aux bornes de la machine ; il suffit de diviser les ordonnées de l'une des courbes par **R**, résistance du circuit extérieur, pour avoir les ordonnées de l'autre courbe.

La méthode de M. Joubert consiste essentiellement à mettre pendant un temps très court, à des périodes déterminées de la révolution des bobines, les bornes de la machine en communication avec un appareil de mesure ne causant pas de dérivation, par exemple un électromètre ou un condensateur ; ou bien à mesurer la force électro motrice développée, par la méthode de compensation ; on trace alors la courbe par points.

Si l'on veut étudier le courant de la bobine de Ruhmkorff, il faut employer la méthode de Frölich, mais comme nous l'avons dit à propos des ondes uniques, on n'obtient ainsi que des résultats très incertains.

On a aussi voulu employer le téléphone pour provoquer l'excitation des nerfs et des muscles : on a constaté que certaines voyelles agissaient plus fort ; mais ces expériences semblent

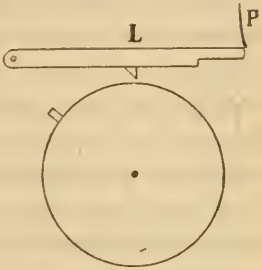
n'avoir que peu d'intérêt par l'ignorance où l'on se trouve des relations existant entre le son produit et l'onde électrique qui en résulte.

88. — Il y a deux éléments qui influent sur les effets des courants périodiques : le nombre de périodes par seconde et la forme d'une ondulation. Pour étudier l'influence du nombre des périodes, il faut un appareil pouvant fournir à volonté un nombre variable d'ondes, sans que pour cela leur forme soit altérée ; aucun des appareils précédents ne satisfait à cette condition ; dans les bobines d'induction, en voulant augmenter le nombre d'ondes induites, c'est-à-dire accélérer la marche du trembleur, on modifie les ondes en même temps ; dans les machines magnéto-électriques, il faut faire varier la vitesse de rotation pour agir sur la période et il est certain que de cette façon on altère les ondes. Il n'y a qu'un appareil permettant d'atteindre le résultat désiré, c'est l'interrupteur de Trouvé.

Il consiste essentiellement en un cylindre mû par un mouvement d'horlogerie et portant des chevilles ; à un certain moment de la rotation, une cheville soulève un petit levier L, qui venant toucher un ressort de platine P, fait un contact. Si l'on a une seule cheville par tour et que le

cylindre fasse une révolution par seconde, on a une onde par seconde. Mais supposons que nous ayons plusieurs chevilles, il est bien évident que chacune d'elles agira comme la première et donnera une onde identique; on ne change donc rien à une onde en particulier en augmentant leur nombre. Dans l'interrupteur de Trouvé on peut ainsi aller de une à vingt ondes sans rien changer à la vitesse de rotation du cylindre; pour cela, le petit levier L peut se mouvoir parallèlement à l'axe du cylindre à l'aide d'un chariot et être amené au point où le cylindre porte un nombre de chevilles égal au nombre d'ondes que l'on désire employer.

Fig. 56



Si l'on veut plus de vingt ondes à la seconde, il faut augmenter la vitesse de rotation du cylindre, la doubler par exemple, ce qui se fait en agissant sur un régulateur à ailettes. On aura alors une nouvelle série allant de deux à quarante ondes par seconde. Cet appareil permet

d'aller jusqu'à environ 60 ou 70 ondes par seconde dans le modèle que livre M. Trouvé.

89. — La seconde étude (influence de la forme d'une onde) soulève les mêmes difficultés que celles déjà rencontrées dans l'étude des ondes uniques.

Le procédé consistant à étudier le courant des machines, a l'inconvénient de s'adresser à des ondes dont il est difficile de faire varier la forme ; il est bon d'opérer par synthèse et de se servir comme instrument de recherches d'un des appareils suivants :

1° L'appareil de M. d'Arsonval permet de produire des courants périodiques, il suffit de donner un pareil mouvement au plongeur à l'aide d'un excentrique faisant un nombre de tours égal au nombre d'ondes que l'on veut avoir par seconde ; en variant la forme de l'excentrique on fera varier la forme de l'onde. Pour avoir des ondes sinusoïdales, M. d'Arsonval fait mouvoir le plongeur par un diapason vibrant. Il y a les mêmes observations à faire qu'à propos des ondes uniques sauf pour les ondes sinusoïdales qui sont très sensiblement obtenues ainsi, mais la capacité du condensateur et la résistance du circuit y entrent toujours d'un façon très com-

plexe. C'est la méthode à employer si l'on veut étudier l'influence des variations de potentiel au point d'application de l'électrode dans la méthode unipolaire, car si on mettait deux électrodes on ne saurait ce qui se passe à la seconde.

Si, au contraire, on veut savoir ce qui se passe entre les deux électrodes, c'est-à-dire si l'on considère comme important de connaître l'intensité du courant traversant un organe déterminé ou la différence de potentiel entre les points d'application des deux électrodes, on se sert avec avantage d'un collecteur analogue à celui qui a servi dans l'étude des ondes uniques; seulement au lieu de le prendre à lames parallèles avec un frotteur se déplaçant d'un mouvement rectiligne, on donne aux lames une disposition rayonnante et on anime le balai d'un mouvement de rotation continue. On peut ainsi réaliser une onde quelconque déterminée d'avance comme nombre de périodes et comme forme ; M. Pellin m'a construit un modèle de ce genre.

90. — Jusqu'ici nous n'avons eu en vue que les muscles de la vie de relation et leurs nerfs moteurs, nous allons signaler quelques expériences faites en dehors de celles que nous avons particulièrement étudiées, et qui deman-

dent encore bien des recherches avant de pouvoir être réunies en un corps de doctrines.

91. Particularités relatives au cœur. — Un cœur de grenouille séparé de l'animal continue à battre; pour l'étudier comme un muscle ordinaire il faut d'abord l'amener au repos, cela se fait en séparant les oreillettes par une section faite un peu au-dessous du sillon auriculo-ventriculaire. La pointe du cœur est alors immobile et en la serrant dans une pince cardiaque on pourra prendre des tracés comme sur un autre muscle. Pour une onde unique on aura une secousse comme sur les autres muscles, avec un temps perdu. Cette secousse sera d'ailleurs plus ou moins haute suivant l'intensité de l'excitation, la température, etc., comme pour les autres muscles. Le passage d'un courant continu un peu intense donne, au lieu d'un raccourcissement permanent, une série de secousses analogues aux battements du cœur, dont la fréquence augmente avec l'intensité, mais qui ne se fusionnent pas peu à peu comme les secousses d'un muscle ordinaire. L'intensité augmentant encore, le cœur se contracte d'une façon permanente, mais d'après les divers auteurs qui ont étudié cette question ce ne serait pas une fusion de secousses.

Après le passage du courant le cœur se décontracte lentement sans revenir complètement à sa position primitive. Lorsque l'on prend une excitation unique on a une secousse, si l'on prend une série d'excitations, la secousse va en grandissant à chaque excitation nouvelle ; ainsi il peut arriver qu'une excitation unique insuffisante pour provoquer une contraction, la provoque lorsqu'on la répète et que les diverses secousses aillent en augmentant à chaque excitation nouvelle ; mais ce fait signalé comme une exception se produit aussi sur les muscles ordinaires comme nous l'avons dit plus haut.

Si au lieu d'opérer sur un cœur dont on a détruit les contractions propres on emploie un cœur non mutilé, on remarque un phénomène très curieux et très important au point de vue de la physiologie du cœur, c'est l'inexcitabilité de l'organe pendant une certaine période de sa révolution. Si l'on prend des excitations allant en croissant, on constate que pendant une période de sa contraction, le cœur n'est nullement influencé par l'excitation, cette période est d'autant plus restreinte que l'excitation est plus forte et elle finit par disparaître complètement (période diastolo-systolique de Marey) ; de sorte que, comme l'avait observé Bowditch, les excitations

très fortes sont seules infaillibles, les autres sont tantôt actives, tantôt inactives, suivant la période de la révolution cardiaque à laquelle elles sont faites. Ce phénomène a donné à M. Marey l'explication des contractions périodiques produites par un courant constant, les contractions créant un véritable état variable de l'excitation.

D'après M. Dastre, on peut reproduire le même phénomène sur la pointe du cœur battant sous l'influence d'excitations périodiques. Ce qui distingue surtout les battements de la pointe du cœur séparée des battements normaux, c'est qu'en lançant un courant périodique dans le premier cas on a autant de battements que d'ondes ; une onde supplémentaire donne un battement supplémentaire ; au contraire, sur le cœur normal on ne peut que hâter l'apparition du battement suivant, et le repos qui suit la systole s'allonge d'autant.

D'après ce que nous venons de voir, on comprend que le courant périodique, tétanisant pour les muscles ordinaires ne l'est pas pour le cœur ; il accélère le rythme surtout si on agit sur la pointe isolée, mais il est rare d'obtenir un tétanos à peu près complet, il faut pour cela des courants très intenses.

Une phase de moindre excitabilité a été signa-

lée sur les muscles volontaires ; d'après Boudet de Paris, en lançant deux excitations successives, le muscle répond moins à la seconde qu'à la première.

92. Muscles lisses. — Les muscles lisses réagissent d'autant mieux à l'excitation électrique que cette excitation est moins brève, les courants continus sont les plus efficaces ; c'est ce qui a amené Boudet de Paris à les utiliser pour provoquer les mouvements de l'intestin dans les cas d'occlusion. Legros et Onimus ont pu prendre des traces des contractions provoquées sur les muscles lisses par l'excitation électrique en introduisant dans l'intestin d'un animal en expérience un petit ballon dont les modifications de volume étaient transmises à un tambour récepteur de Marey, mais les résultats qu'ils ont pu tirer de ces expériences ne sont pas très nets ; la question serait à reprendre.

93. Nerfs centrifuges autres que les nerfs moteurs. — L'excitation électrique des nerfs centrifuges, autres que les nerfs moteurs est très mal connue. Donders dit avoir pu vérifier la loi des secousses de Pflüger sur le pneumogastrique. Il produisait l'arrêt du cœur à l'aide de ferme-

tures ou de ruptures du courant descendant ou ascendant. L'arrêt se produit d'abord à la fermeture du courant ascendant, puis à celle du courant descendant, puis à l'ouverture du courant descendant et enfin à l'ouverture du courant ascendant. Quand le courant augmente beaucoup, la fermeture du courant ascendant et l'ouverture du courant descendant cessent de produire leur effet.

On a aussi étudié l'action de l'excitation électrique des nerfs vaso-moteurs, soit par l'observation des variations de calibre des vaisseaux, soit en enregistrant des variations de pression ou de vitesse du sang. Suivant certains auteurs, les courants ascendant et descendant produisent le même effet; suivant Legros et Onimus, le courant ascendant produit une constriction, le courant descendant une dilatation.

94. Nerfs centripètes. — Outre les diverses actions de l'électricité sur les tissus que nous avons vues, il y en a d'autres beaucoup plus difficiles à étudier car on ne peut observer directement leurs effets; c'est l'excitation des nerfs sensitifs et l'excitation des nerfs de sensations spéciales. Ces nerfs sont comme les nerfs moteurs excités par la variation d'intensité des courants. Un des rares

résultats qui paraisse à peu près net, c'est l'excitation unipolaire des nerfs à travers la peau sur l'homme; nous avons déjà signalé le fait plus haut; ce phénomène est absolument inverse de celui que l'on rencontre quand on provoque la contraction musculaire, c'est-à-dire que pour des actions faibles le pôle positif est plus actif que le pôle négatif, puis au bout d'un certain temps il y a inversion. On conçoit que ces expériences soient encore bien moins précises que celles où la méthode graphique permet d'enregistrer l'effet produit, quant à opérer sur les animaux il n'y faut pas songer, on ne peut se guider sur la douleur qu'ils manifestent. On a voulu étudier les reflexes produits, mais ce moyen est très infidèle ; à une même excitation ne correspondent pas des réponses égales.

95. — Pour les nerfs de sensation spéciale, on a étudié les phénomènes visuels, olfactifs, auditifs et gustatifs. C'est l'excitation du nerf optique qui a donné les résultats les plus nets, et encore les auteurs sont-ils loin d'être d'accord sur les couleurs observées puisqu'il y a une question d'appréciation. Les phénomènes olfactifs n'ont pas encore été signalés. Pour exciter le nerf auditif, il faut prendre quelques précautions, et ne

pas introduire dans l'oreille des liquides pouvant donner lieu à des sons perturbateurs ; il suffit de placer une éponge imbibée d'eau salée et servant d'électrode sur le pavillon de l'oreille en exerçant une légère pression, l'autre électrode est placée sur la nuque, on arrive à produire de cette façon des sensations de sons plus ou moins vifs. Pour éprouver des sensations de goût on met un pôle d'une pile sur la langue, on touche l'autre de la main et suivant que le pôle positif ou négatif est sur la langue, on éprouve un goût acide ou alcalin, il est fort probable qu'il ne s'agit ici que d'actions chimiques.

96. Action sur les animaux unicellulaires. — On sait que certains animaux unicellulaires sont doués de mouvements consistant en variations de forme ; il était important de rechercher l'action de l'excitation électrique sur ces cellules. Les expériences les plus intéressantes ont été faites par Engelmann sur l'*Amœba diffluens*. Voici les principaux résultats obtenus :

Les courants induits sont plus excitants que les courants continus. L'effet se produit après un certain temps perdu, d'autant plus long que l'excitation est plus faible. Si le courant d'excitation est très faible, après un court temps perdu,

il y a arrêt des mouvements amiboïdes, puis après une ou deux secondes, les choses reviennent à leur état primitif. Si l'excitation est plus forte, les mouvements s'arrêtent aussitôt, et l'animal tend vers la forme sphérique, et au bout d'un certain temps, il reprend sa forme allongée. Enfin, plus l'excitation est forte, plus rapidement l'Amœba tend vers la forme sphérique.

Engelmann a aussi fait quelques remarques intéressantes sur l'*Arcella vulgaris*, en utilisant les bulles d'air qui se trouvent au milieu du protoplasma et qui lui ont permis de voir comment se distribuaient les tensions dans l'intérieur de la cellule au moment de la variation de forme. Au moment de l'excitation, les bulles d'air qui avaient des formes variées devinrent sphériques, ce qui donne à croire que l'intérieur des cellules se comporte à ce moment comme un liquide.

Si l'on observe des cils vibratils l'excitation électrique semble produire un changement dans la fréquence et dans l'amplitude des vibrations.

CONCLUSION

—

Nous n'avons pas la prétention d'avoir rapporté en peu de pages toutes les expériences relatives à l'électrophysiologie ; tel n'était pas notre but, ce travail de bénédictin eût exigé un espace et un temps fort considérable. Nous nous sommes abstenus aussi de donner notre opinion sur la plupart des sujets traités, citant avec impartialité les arguments pour ou contre chaque théorie. Mais nous espérons que les physiologistes pourront trouver dans ce petit volume une vue d'ensemble suffisante sur les diverses questions d'électrophysiologie pour pouvoir lire un mémoire quelconque. — En voyant l'absence de précision avec laquelle beaucoup de points sont traités, et en recherchant les causes, on pourra se convaincre de la nécessité absolue de mesures bien faites et d'indications bien déterminées sur les circonstances des expériences ; puissent les physiologistes en être bien persuadés et ne publier que des faits susceptibles d'être identiquement reproduits et d'être vérifiés.

BIBLIOGRAPHIE

—

Il y a peu de physiologistes qui ne se soient occupés de l'électricité animale, aussi la bibliographie sur cette question est-elle très riche et il serait impossible d'énumérer tous les mémoires qui s'y rapportent. Une pareille compilation serait aussi sans intérêt, personne n'aurait le temps de lire ce qui a été écrit, d'ailleurs on en retirerait peu de profit. Nous croyons rendre un plus grand service en donnant une liste assez restreinte d'ouvrages et de publications qu'il est aisé de se procurer et dans un certain nombre desquels on trouve d'ailleurs une bibliographie assez complète.

1° PÉRIODE DU DÉBUT ; PUBLICATIONS A CONSULTER PAR CURIOSITÉ

GALVANI. — *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius* (Inst. de Bologne, 1791).

L'Académie des sciences de Bologne a publié vers 1844 une collection des mémoires de Galvani.

VOLTA. — *Electricité dite animale* (Annales de chimie, 1797-1799). — Collezione dell' opere, Firenze, 1816.

A. de HUMBOLDT. — *Expérience sur le galvanisme*, 1799.

MARIANINI. — *Mémoires* dans les Annales de chimie et de physique, 1829-1834.

2° OUVRAGES TRAITANT, D'UNE FAÇON GÉNÉRALE, DE L'ÉLECTRICITÉ ANIMALE ET DE L'EXCITATION DES NERFS ET DES MUSCLES.

MATTEUCCI. — *Phénomènes électro physiologiques des animaux*, 1844.

DUBOIS-REYMOND. — *Untersuchungen über thierische Electricität*. Berlin, 1848-1849. On y trouve la bibliographie jusqu'à cette époque.

MATTEUCCI. — *Cours d'électrophysiologie*, 1854.

CLAUDE BERNARD. — Surtout *Leçons sur le système nerveux*. Tome I. Voir aussi : *Liquides de l'organisme*. Tome II. *Pathologie expérimentale et physiologie opératoire*.

Duchenne de Boulogne. — *Electrisation localisée*, 1872.

Marey. — *Méthode graphique*, 1878.

Ranvier. — *Histologie du système nerveux.* Très belle étude de la torpille dans le tome II.

Hermann. — *Handbuch der physiologie.* I Band und II Band, 1879.

Charbonnel-Salle. — *Thèse*, 1881, Masson. *Excitation électrique des nerfs moteurs et électrotonus.*

Ch. Richet. — *Physiologie des nerfs et des muscles*, 1882.

Erb. — *Electrothérapie.* Traduction Rueff, 1884.

Morat. — *Dictionnaire encyclopédique des sciences médicales.* Article : *Electrophysiologie.*

Les traités de physiologie Wundt, Fredericq et Nuel.

Il est bon de consulter ces divers ouvrages, car ils envisagent l'électricité biologique sous des aspects différents, les uns au point de vue physiologique pur, les autres tels que Duchenne de Boulogne et Erb, au point de vue des applications que l'on peut en tirer. Tous, sauf Claude Bernard, donnent une bibliographie assez bien faite.

3° PUBLICATIONS PÉRIODIQUES A CONSULTER POUR VOIR QUELQUES MÉMOIRES INTÉRESSANTS ET POUR SE TENIR AU COURANT DEPUIS LES DIX DERNIÈRES ANNÉES.

Comptes rendus de l'Académie des sciences. — Principalement aux noms: Regnault, Matteucci, Marey, Dastre, Morat, Chauveau, Toussaint.

Comptes rendus de la Société de biologie. — Surtout au nom d'Arsonval.

Comptes rendus de la Société de physique. — Pour la technique instrumentale.

Comptes rendus des Travaux du laboratoire de M. Marey.

Journal de la physiologie. : Chauveau, 1859-1860.

Archives de physiologie normale et pathologique.

Revue générale des sciences pures et appliquées. — Comptes rendus de nombreuses sociétés et publications françaises et étrangères.

Centralblatt für physiologie.

Index medicus.

TABLE DES MATIÈRES

Pages

Indication des notations et unités employées . . 5
Avant-propos 9
Formules et Lois indispensables à connaître . . 13

PREMIÈRE PARTIE

COMPARAISON DES GRANDEURS AVEC L'UNITÉ.
INSTRUMENTS DE MESURE

CHAPITRE I

MESURE DES INTENSITÉS

Mesure des intensités 23
Galvanomètre d'Arsonval 23
Boussole de Viedemann 27
Etalonnage des appareils 30

CHAPITRE II

MESURE DES QUANTITÉS D'ÉLECTRICITÉ

Mesure des quantités d'électricité 32

Pages

CHAPITRE III

MESURE DES DIFFÉRENCES DE POTENTIEL

Voltmètre 36
Electromètre Thomson. 38
Electromètres capillaires 39

CHAPITRE IV

MESURE DES FORCES ÉLECTROMOTRICES

Mesure de polarisation 43
Mesure des capacités 44
Mesure des résistances 44

DEUXIÈME PARTIE

PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ PAR LES TISSUS VIVANTS

CHAPITRE I

POISSONS, INSECTES ET PLANTES ÉLECTRIQUES. PERSONNES ÉLECTRIQUES

Historique 49
Poissons électriques. — Mécanisme de la décharge de la torpille. 58
Insectes et Plantes électriques 61
Personnes électriques 62
Electricité produite par tous les animaux . . . 63

Pages

Instruments à employer 66
Electrodes impolarisables. 67
Manifestations électriques dites de repos . . . 71
Manifestations électriques à l'état actif. . . . 77
Que se passe-t-il sur le vivant et dans les organes non lésés ? 82
Que devient l'oscillation négative sur le muscle entier ? 85
Théories de l'électricité animale 92

TROISIÈME PARTIE

CHAPITRE I

ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ SUR LES TISSUS

Divers modes d'emploi. 97
Modes de préparation des organes en expérience 98
Emplacement des électrodes. 101
Flux électrique employé 110

CHAPITRE II

LES COURANTS CONTINUS

Raccourcissement galvanotonique. 116
Actions chimiques du courant 121
Effets d'entraînement 127
De l'électrotonus. 132
Résistance des tissus 138

Pages

CHAPITRE III

LES ONDES UNIQUES

Temps perdu de Helmholtz 144
Diverses ondes étudiées 149
Ondes de rupture et de fermeture des courants. 150
Ondes induites et décharges de condensateurs . 162
Dispositifs pour avoir toujours une excitation déterminée 164
Influence de la forme de l'onde sur la contraction 168

CHAPITRE IV

COURANTS PÉRIODIQUES

Effets des courants périodiques. 183
Dispositifs divers donnant des courants périodiques 185
Particularités relatives au cœur 198
Muscles lisses 201
Nerfs centrifuges autres que les nerfs moteurs . 201
Nerfs centripètes. 202
Action sur les animaux unicellulaires 204
Conclusion 206

Bibliographie. 207

ST-AMAND (CHER). IMPRIMERIE DESTENAY, BUSSIÈRE FRÈRES

BULLETIN DES ANNONCES

REVUE GÉNÉRALE
DES SCIENCES
PURES & APPLIQUÉES

Paraissant le 15 et le 30 de chaque mois, par cahiers de 32 page grand in-8° colombier, imprimés à 2 colonnes avec de *nombreuses figures dans le texte.*

DIRECTEUR : **Louis OLIVIER**, DOCTEUR ÈS SCIENCES

Cette *Revue,* à laquelle collaborent 31 membre de l'Académie des Sciences de Paris et le savants les plus illustres de tous pays, a pou objet d'exposer, à mesure qu'ils se produisent et en quelqu pays qu'ils s'accomplissent. les progrès des SCIENCES POSITIVE et de leurs APPLICATIONS PRATIQUES : *Astronomie, Mécaniqu Physique, Chimie, Géologie, Botanique, Zoologie, Anatomi Physiologie générale et Physiologie humaine, Anthropologie, – Géodésie, Navigation, Génie civil et Génie militaire, Industri Agriculture, Hygiène publique, privée et professionnelle, Médecin Chirurgie.*

Chacun de ses numéros renferme trois parties :

1° La première se compose d'ARTICLES ORIGINAUX, d grandes analyses critiques et de revues spéciales ; le lec teur y trouvera la *synthèse précise des grandes questions l'ordre du jour*; celles qui se rapportent à la MÉDECINE SO dans chaque numéro l'objet d'un article spécial.

2° La deuxième partie est consacrée à l'ANALYSE BIBLIO GRAPHIQUE DÉTAILLÉE des livres et des mémoires importants récemment parus sur les sciences *mathématiques, physique naturelles. médicales ;*

3° La troisième partie renferme le compte rendu de travaux présentés aux Académies et aux principale Sociétés savantes du monde entier.

Tous ceux qui, à des titres divers, s'intéressent au *pro grès théorique et pratique des sciences*, trouveront dans cett *Revue* le *tableau complet du mouvement scientifique actuel.*

SPÉCIMEN D'UN NUMÉRO

I. — H. Poincaré, *de l'Institut* : Les Géométries non-Euclidiennes.

II. — Drs Magnan et Sérieux : Les Aliénés persécuteurs ; leurs caractères anthropologiques et psychiques ; leur diagnose.

III. — J. Bergeron, *docteur ès sciences* : La Faune dite « primordiale » a-t-elle été la première ? Découvertes récentes de la paléontologie et de la pétrographie sur ce sujet (avec de nombreuses figures).

IV. — J. Bouveault, *docteur ès sciences :* La Synthèse des alcaloïdes naturels (avec exemples de préparation).

V. — *Analyse bibliographique* : 1° Sciences mathématiques ; 2° Sciences physiques ; 3° Sciences naturelles ; 4° Sciences médicales.

VI. — *Académies et Sociétés savantes de la France et de l'Etranger*

Nota. — La *Revue* publie, avec chacun de ses numéros, un **Supplément** de *huit colonnes* renfermant : 1° Les nouvelles de la Science et de l'Enseignement ; 2° les sommaires de 300 périodiques scientifiques classés par ordre de science.

Un Numéro spécimen sera adressé gratuitement à toute personne qui en fera la demande.

PRIX DU NUMÉRO : **80 centimes**

Abonnements : chez Georges CARRÉ, Éditeur

58, rue Saint-André-des-Arts, Paris

Paris	Un an, 18 fr. ;	6 mois, 10 fr.
Départements et Alsace-Lorraine	— 20 —	— 11 —
Union postale	— 22 —	— 12 —

TRAITÉ

DE PHYSIQUE INDUSTRIELLE

PRODUCTION ET UTILISATION

DE LA CHALEUR

Par **L. SER**

Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures.

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

L. CARETTE et E. HERSCHER

Ingénieurs des Arts et Manufactures, Membres de la Société des Ingénieurs civils, Membres de la Société de médecine et d'hygiène professionnelle.

---

2 forts volumes in-8° illustrés de 790 figures. **45** fr.

I. — Principes généraux et appareils considérés d'une manière générale indépendamment de toute application particulière (foyers récepteurs de chaleur, cheminées, ventilateur, thermodynamique). 1 fort volume in-8° avec 362 figures. . **22** *fr.* **50**

II. — Chaudières à vapeur. — Distillation. — Évaporation et séchage. — Désinfection. — Chauffage et ventilation des lieux habités. 1 fort volume in-8° avec 428 figures. . . . . . **22** *fr.* **50**

Le **Traité de Physique industrielle** est avant tout le résumé du cours professé à l'*Ecole Centrale* par le savant et regretté professeur, depuis qu'il occupait la chaire de M. Péclet.

C'est en même temps un ouvrage absolument pratique, s'adressant non seulement aux élèves, mais aux *Ingénieurs*, aux *Architectes*, aux Membres des Comités d'hygiène, etc.

Le second volume est publié avec la précieuse collaboration de deux hommes bien connus par leur compétence industrielle, et tient compte, par conséquent, de tous les travaux, de toutes les découvertes qui se sont produits depuis l'Exposition de 1889.

Il traite de deux questions très diverses : Les *Chaudières à vapeur* et le *Chauffage et la Ventilation*.

Nous l'avons, pour la facilité des lecteurs, publié en deux fascicules qu'on peut acheter séparément.

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, A PARIS

BIBLIOTHÈQUE DIAMANT

DES

SCIENCES MÉDICALES ET BIOLOGIQUES

Collection publiée dans le format in-18 raisin, cartonnée à l'anglaise

---

Manuel de Pathologie interne, par G. Dieulafoy, professeur à la Faculté de médecine de Paris, médecin des hôpitaux, lauréat de l'Institut (Prix Montyon). 6e édition. 2 vol. . . . . 15 fr.

Manuel du diagnostic médical, par P. Spillmann, professeur à la Faculté de médecine de Nancy et P. Haushalter, chef de clinique médicale. 2e édition, entièrement refondue . . 6 fr.

Manuel d'anatomie microscopique et d'histologie, par P.-E. Launois et H. Morau, préparateurs-adjoints d'histologie à la Faculté de médecine de Paris, préface de M. Mathias Duval, professeur à la Faculté de médecine de Paris. . . . . 6 fr.

Séméiologie et diagnostic des maladies nerveuses, par Paul Blocq, chef des travaux anatomo-pathologiques à la Salpêtrière, lauréat de l'Institut, et J. Oxanoff. . . . . 5 fr.

Manuel de thérapeutique, par le Dr Berlioz, professeur à la Faculté de médecine de Grenoble, précédé d'une préface de M. Bouchard, professeur à la Faculté de médecine de Paris. . 6 fr.

Précis de microbie médicale et vétérinaire, par le Dr L.-H. Thoinot, ancien interne des hôpitaux et E.-J. Masselin, médecin-vétérinaire, 2e éd., 75 fig. noires et en couleurs. 6 fr.

Précis de médecine judiciaire, par A. Lacassagne, professeur à la Faculté de médecine de Lyon. 2e édition . . . 7 fr. 50

Précis d'hygiène privée et sociale, par A. Lacassagne, professeur à la Faculté de médecine de Lyon. 3e édition revue et augmentée. . . . . 7 fr.

Précis d'anatomie pathologique, par L. Bard, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Lyon. . . . . 7 fr. 50

Précis théorique et pratique de l'examen de l'œil et de la vision, par le Dr Chauvel, médecin principal de l'armée, professeur à l'Ecole du Val-de-Grâce. . . . . 6 fr.

Le Médecin. Devoirs privés et publics; leurs rapports avec la Jurisprudence et l'organisation médicales, par A. Dechambre, membre de l'Académie de médecine . . . . . 6 fr.

Guide pratique d'Électrothérapie, rédigé d'après les travaux et les leçons du Dr Onimus, lauréat de l'Institut, par M. Bonnefoy. 3e édition, revue et augmentée d'un chapitre sur *l'électricité statique*, par le Dr Danion . . . . . 6 fr.

Paris : sa topographie, son hygiène, ses maladies, par Léon Colin, directeur du service de santé du gouvernement militaire de Paris . . . . . 6 fr.

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN A PARIS

DICTIONNAIRE
DES ARTS & MANUFACTURES
ET DE L'AGRICULTURE

FORMANT UN TRAITÉ COMPLET DE TECHNOLOGIE

Par **Ch. LABOULAYE**

Avec la collaboration de Savants, d'Industriels et de Publicistes

---

SEPTIÈME ÉDITION, PUBLIÉE EN 5 VOLUMES

REVUE ET COMPLÉTÉE A LA SUITE DE L'EXPOSITION DE 1889

Imprimée sur deux colonnes avec plus de 5,000 figures dans le texte. Prix des 5 volumes : brochés. **120** fr.
reliés. . . . . **145** fr.

Le *Dictionnaire des Arts et Manufactures* est devenu, par son grand et légitime succès, un ouvrage classique parmi les ingénieurs et tous ceux qui s'intéressent aux progrès de l'industrie.

C'est un ouvrage de recherches et d'études que l'on consulte, non seulement pour y trouver des renseignements sur sa propre industrie, mais souvent aussi sur les procédés des industries connexes, et sur les questions générales qui intéressent toute entreprise industrielle. L'Exposition de 1889 a fourni une abondante récolte d'indications précieuses, mises à profit par les collaborateurs de M. Ch. Laboulaye qui continuent son œuvre. Parmi les sujets remaniés ou traités à nouveau dans leur entier, nous citerons : l'électricité (installation d'éclairage, projets de machine, transport de la force, etc.), le verre, le sucre, les constructions métalliques, l'éclairage, la métallurgie, les canaux, le matériel des chemins de fer, les instruments d'agriculture, la statistique graphique, la statistique industrielle et agricole, les institutions de prévoyance (caisses de retraites, assurances, sociétés coopératives, réglementation du travail, syndicats professionnels, etc.). La nouvelle édition du *Dictionnaire des Arts et Manufactures* est tenue au courant des progrès, et nous avons lu avec grand intérêt, parmi les articles nouveaux, ceux qui se rapportent à la statistique et aux institutions de prévoyance. Cette nouvelle édition aura le succès de ses devancières.

(Extrait de *La Nature*.)

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, A PARIS

GAZETTE HEBDOMADAIRE

DE MÉDECINE ET DE CHIRURGIE

PARAISSANT TOUS LES SAMEDIS

LE MERCREDI MÉDICAL

JOURNAL DU PRATICIEN ET DE L'ÉTUDIANT

PUBLIÉ PAR

LA GAZETTE HEBDOMADAIRE

DE MÉDECINE ET DE CHIRURGIE

Et servi gratuitement à tous les abonnés de ce journal

RÉDACTEUR EN CHEF : Dr **LEREBOULLET**

SECRÉTAIRE DE LA RÉDACTION : Dr **A. BROCA**

COMITÉ DE RÉDACTION :

MM. E. BRISSAUD, G. DIEULAFOY, DREYFUS-BRISAC, FRANÇOIS-FRANK
A. GILBERT, A. HÉNOCQUE, A.-J. MARTIN, A. PETIT, P. RECLUS

Prix de l'Abonnement aux deux Journaux :

FRANCE, **24** fr. — UNION POSTALE, **26** fr.

Avec le *Bulletin de l'Académie*

FRANCE. Un an, **32** fr. — DÉPARTEMENTS. Un an, **38** fr.

Journal du praticien et de l'étudiant, le **Mercredi médical** contient, outre le compte rendu de l'Académie de médecine et des principales Sociétés savantes, une *leçon clinique*, un *précis de thérapeutique appliquée*, des *nouvelles universitaires*, enfin des *revues de journaux*.

Le numéro du SAMEDI est un organe d'enseignement et de critique. Une large place y est consacrée aux revues générales, aux articles de bibliographie, aux revues de journaux français et étrangers, enfin aux questions déontologiques et professionnelles.

En un mot, les abonnés trouvent dans ce journal toutes les nouvelles médicales, tous les documents, toutes les appréciations critiques, tous les enseignements que l'on est en droit de chercher dans un organe indépendant, soucieux de se tenir au courant du mouvement scientifique contemporain et toujours fidèle aux traditions d'honnêteté scientifique et de travail qui lui ont valu jusqu'à ce jour de si encourageantes sympathies.

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN A PARIS

VINGTIÈME ANNÉE

37 VOLUMES PARUS

REVUE DES SCIENCES

ET DE LEURS APPLICATIONS AUX ARTS ET A L'INDUSTRIE

Journal hebdomadaire illustré

RÉDACTEUR EN CHEF : **GASTON TISSANDIER**

Cette revue, si savamment dirigée par M. TISSANDIER, répond à un besoin actuel. Tous ceux qui se préoccupent un peu des progrès scientifiques, des découvertes utiles faites à chaque instant, trouveront dans ses précieuses pages toutes les trouvailles intéressantes, enregistrées au jour le jour. Sans peine, il pourront profiter du travail accumulé dans cette véritable Encyclopédie. Ils n'y rencontreront pas seulement les résultats pratiques auxquels on est arrivé ; ils y verront également les tentatives faites par les chercheurs dans telle ou telle voie, le but qu'ils poursuivent, les moyens qu'ils emploient. A ce titre, *La Nature* est doublement utile aux inventeurs. Elle peut les éclairer parfois, souvent leur indiquer des sujets de recherches. En tous cas, ce sera toujours avec profit qu'ils l'auront consultée. Bref, c'est un ouvrage véritablement utile pour beaucoup de gens, intéressant pour tous. Le texte en est toujours rédigé d'une façon brève et concise ; les illustrations sont dues à nos meilleurs artistes et gravées avec le plus grand soin.

PRIX DE L'ABONNEMENT ANNUEL :

Paris, 20 fr. — Départements, 25 fr. — Union postale, 26 fr.

Les 37 premiers volumes sont en vente, et sont vendus chacun :

Broché, **10** fr. — Relié, **13** fr. **50**.

LIBRAIRIE G. MASSON, 120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, A PARIS

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS
Envoi franco *contre mandat-poste ou valeur sur Paris*

LEÇONS
DE
PHYSIQUE GÉNÉRALE

PAR

James CHAPPUIS,
Agrégé, Docteur ès Sciences,
Professeur de Physique générale à l'École Centrale des Arts et Manufactures.

Alphonse BERGET,
Docteur ès Sciences,
Attaché au Laboratoire des Recherches physiques à la Sorbonne.

COURS PROFESSÉ A L'ÉCOLE DES ARTS ET MANUFACTURES

ET COMPLÉTÉ SUIVANT LE PROGRAMME DE LA LICENCE ES SCIENCES PHYSIQUES.

3 beaux vol. grand in-8, avec nombreuses figures dans le texte.

Tome I : *Instruments de mesure ; Chaleur ; Capillarité ;* avec 179 figures ; 1891. . . . . 13 fr.
Tome II : *Électricité et Magnétisme*, avec 305 figures ; 1891. . 13 fr.
Tome III : *Acoustique ; Optique, Electro-optique*, avec 193 fig. ; 1892. 10 fr.

Les jeunes gens qui se livrent aux études d'enseignement supérieur, en suivant les cours des Facultés ou ceux des grandes Écoles du Gouvernement, n'ont plus rien à apprendre dans les Traités élémentaires écrits pour l'enseignement secondaire. D'autre part, il n'est pas donné à tous de pouvoir consulter avec fruit les Ouvrages considérables où l'exposé de la Science a reçu les plus complets développements. Entre ces deux ordres de publications : les unes trop élémentaires, les autres trop élevées, ils cherchent en vain un livre qui réponde à leur programme et soit au niveau de leurs études. C'est ce livre que nous présentons au public.

Ces *Leçons de Physique générale* s'adressent aux Élèves des Facultés qui pourront y puiser la somme de connaissances nécessaires à la préparation de la Licence ès Sciences physiques, aux Élèves de nos grandes Écoles, aux Ingénieurs qui trouveront là l'exposé des théories dont la connaissance leur est indispensable, ainsi que le point de départ des applications auxquelles ils devront s'adonner ; enfin à tous ceux qui ne considèrent pas les études d'enseignement supérieur comme un but, mais comme un acheminement vers les régions les plus élevées de la Science.

En résumé, ce Traité de Physique pour les Élèves de l'enseignement supérieur est donc, suivant une heureuse expression, une Introduction générale à l'étude de la Physique.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS
Envoi franco *contre mandat-poste ou valeur sur Paris*

LEÇONS
SUR
L'ÉLECTRICITÉ
ET LE
MAGNÉTISME
PAR
P. DUHEM,
CHARGÉ D'UN COURS COMPLÉMENTAIRE DE PHYSIQUE MATHÉMATIQUE ET DE CRISTALLOGRAPHIE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE LILLE.

3 BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, AVEC 215 FIGURES, SE VENDANT SÉPARÉMENT.

TOME I : *Conducteurs à l'état permanent ;* 1891. . . . . 16 fr.
TOME II : *Les Aimants et les corps diélectriques ;* 1892. . . . 14 fr.
TOME III : *Courants linéaires ;* 1892. . . . . 15 fr.

Extrait de la *Revue bibliographique belge* (no d'août 1891).

Le but de cet Ouvrage est de coordonner mathématiquement les théories les mieux assises sur l'Électricité et le Magnétisme, en contrôlant toujours les principes par l'expérience. Nous ne pensons pas qu'aucun Ouvrage récent ait traité d'une manière aussi solide et aussi compétente les mêmes sujets et mieux montré la supériorité des théories si nettes et si précises dues aux savants français sur les principes de Faraday et Maxwell, qui manquent de ces qualités. Il est donc appelé à un réel succès.

PH. GILBERT.

GRAY (John), Associé de l'École Royale des Mines, de l'Institut des Ingénieurs électriciens, etc. — **Les machines électriques à influence.** *Exposé complet de leur histoire et de leur théorie*, suivi *d'Instructions pratiques sur la manière de les construire.* Traduit de l'anglais et annoté par GEORGES PELLISSIER, Rédacteur à la *Lumière électrique.* In-8, avec 124 figures ; 1892. . . . . 5 fr.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

Envoi franco *contre mandat-poste ou valeur sur Paris*

COURS DE PHYSIQUE

DE

L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

PAR M. J. JAMIN

QUATRIÈME ÉDITION

AUGMENTÉE ET ENTIÈREMENT REFONDUE,

PAR

M. BOUTY,

Professeur à la Faculté des Sciences de Paris.

Quatre Tomes in-8, de plus de 4000 pages, avec 1587 figures dans le texte et 14 planches sur acier, dont 2 en couleur ; 1885-1891. (OUVRAGE COMPLET.). . . . . 72 fr.

On vend séparément :

(*) 1er fascicule. — *Instruments de mesure. Hydrostatique ;* avec 150 fig. dans le texte et 1 planche ; 1888. . . . . 5 fr.

2e fascicule. — *Physique moléculaire ;* avec 93 fig. ; 1891. . 4 fr.

TOME II. — CHALEUR. — 15 fr.

1er fascicule. — *Thermométrie. Dilatations ;* avec 98 fig. dans le texte ; 1885. . . . . 5 fr.

(*) 2e fascicule. — *Calorimétrie ;* avec 48 fig. dans le texte et 2 planches ; 1885. . . . . 5 fr.

3e fascicule. — *Thermodynamique. Propagation de la chaleur ;* avec 47 figures dans le texte ; 1885. . . . . 5 fr.

TOME III. — ACOUSTIQUE ; OPTIQUE. — 22 fr.

1er fascicule. — *Acoustique ;* avec 123 fig. ; 1887. . . . . 4 fr.

(*) 2e fascicule. — *Optique géométrique ;* avec 139 fig. dans le texte et 3 planches ; 1886. . . . . 4 fr.

3e fascicule. — *Étude des radiations lumineuses, chimiques et calorifiques ; Optique physique ;* avec 249 fig. et 5 planches, dont 2 planches de spectres en couleur ; 1887. . . . . 14 fr.

(*) Les matières du programme d'admission à l'École Polytechnique sont comprises dans les parties suivantes de l'Ouvrage : Tome I, 1er fascicule ; Tome II, 1er et 2e fascicules ; Tome III, 2e fascicule.

LIBRAIRIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS

Envoi franco *contre mandat-poste ou valeur sur Paris*

TRAITÉ D'OPTIQUE

PAR

E. MASCART,

Membre de l'Institut,
Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique.

2 BEAUX VOLUMES GRAND IN-8, AVEC FIGURES ET PLANCHES.

On vend séparément :

TOME I : *Systèmes optiques. Interférences. Vibrations. Diffraction. Polarisation. Double réfraction.* Avec 199 figures et 2 pl. ; 1889. . 20 fr.

TOME II et ATLAS : *Propriétés des cristaux. Polarisation rotatoire. Réflexion vitrée. Réflexion métallique. Réflexion cristalline. Polarisation chromatique.* Grand in-8 avec 113 figures et Atlas cartonné contenant 2 planches sur cuivre dont une en couleur. (Propriétés des cristaux. Spectre solaire. Phénomènes de polarisation chromatique et rotatoire.) 1891. Prix pour les souscripteurs. . . . . 24 fr.

Le Tome II (texte) est complet. L'Atlas ne sera envoyé qu'ultérieurement aux souscripteurs, en raison des soins et du temps nécessités par la gravure.

Cet Ouvrage comprend deux Volumes. Il s'adresse aux élèves des Facultés et des Écoles d'enseignement supérieur. L'Auteur espère aussi que les physiciens et les professeurs trouveront quelque intérêt dans le mode d'exposition, le groupement des phénomènes, la discussion des expériences, et dans l'examen de certaines questions spéciales que les publications analogues n'ont pas l'habitude de traiter.

Soret (A.), Professeur de Physique au lycée du Havre. — *Optique photographique.* Notions nécessaires aux photographes amateurs. Étude de l'objectif. Applications. In-18 jésus ; avec figures ; 1891. 3 fr.

Habitué par un enseignement de tous les jours à la démonstration des principaux phénomènes lumineux, M. Soret vient de publier un livre tout élémentaire, où il a étudié la marche d'un faisceau lumineux à travers une lentille, les différentes combinaisons optiques employées en Photographie, et le choix d'un objectif approprié au genre de travail à exécuter.

Wallon (E.), Professeur de Physique au lycée Janson de Sailly. — *Traité élémentaire de l'objectif photographique.* Grand in-8, avec 135 figures ; 1891 . . . . . 7 fr. 50

Ce Traité s'adresse à ceux qui veulent choisir, en connaissance de cause, l'appareil dont ils ont besoin et apprendre les procédés opératoires permettant de l'étudier dans ses diverses parties ; à tous ceux qui désirent savoir comment les rayons lumineux sont guidés dans leur marche par l'art de l'opticien. En un mot, cet Ouvrage, comme « l'Optique photographique » de Monckhoven, depuis longtemps épuisée, intéresse les amateurs et les praticiens.

ÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

COLLABORATEURS

Section de l'Ingénieur

MM.

Ga[illegible] Armand).
Gau[illegible]
Godard.
Gouilly.
Grouvelle
Guenez.
Guillaum[illegible]
Guye (F[illegible]
Guyo[illegible]
Ha[illegible]
Hosp[illegible]
Hubert
Hutin.
Jaco[illegible]
Jean
Labouret (de).
Laharpe (de).
Launay (de).
Lau[illegible] (H.).
La[illegible]
Léa[illegible]
Le Ch[illegible]
Lec[illegible]
Lelo[illegible]
Le[illegible]
L[illegible]
L[illegible]t (L.).
Lippmann (G.).
Lumière (A. et L.).
Madamet (A.).
Magnier de la Source.

MM.

Mall[illegible] (P.).
[illegible]arger[illegible]
Mey[illegible]).
Mic[illegible]
Min[illegible]
Min[illegible]
Moë[illegible]ard [illegible]m[illegible]).
Mois[illegible]n.
Mon[illegible]r.
Mor[illegible] (Au[illegible]).
Nau[illegible] (La[illegible]ent).
Ouv[illegible]
Perr[illegible]
Perr[illegible]
Pico[illegible]).
Poul[illegible]
Resa[illegible]).
Rica[illegible]
R[illegible]é.
Sarr[illegible]
Sau[illegible]ge.
Sc[illegible]ng fils (Th.).
Sc[illegible]enberger.
Seyr[illegible]g (T.).
Sini[illegible]aglia.
Sore..
Urbain.
Vermand.
Viaris (de).
Widmann.
Witz (Aimé).

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-

DIRIGÉE PAR M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTIT

Collection de 300 volumes petit in-8 (30 à 40 volumes publiés

CHAQUE VOLUME SE VEND SÉPARÉMENT : BROCHÉ, 2 FR. 50; CA

Ouvrages en cours de publication

Section de l'Ingénieur

R.-V. PICOU.— Distribution de l'électricité par installations isolées.
A. GOUILLY.— Transmission de la force par air comprimé ou raréfié.
MAGNIER DE LA SOURCE.— Analyse des vins.
DWELSHAUVERS-DERY.— Étude expérimentale calorimétrique de la machine à vapeur.
DUQUESNAY.— Résistance des matériaux.
AIMÉ WITZ. — Thermodynamique à l'usage des Ingénieurs.
A. MADAMET.— Tiroirs et distributeurs de vapeur.
R.-V. PICOU.— Distribution de l'électricité par usines centrales.
H. GAUTIER.— Essais d'or et d'argent.
LINDET.— Fabrication de la bière.
ALHEILIG.— Recette, conservation et travail du bois, Outils et machines.
TH. SCHLŒSING fils.— Chimie agricole.
LE CHATELIER.— Le Grisou.
H. LAURENT.— Théorie des jeux de hasard.
LECOMTE.— Les textiles végétaux. Leur examen microchimique.
H. LÉAUTÉ et A. BÉRARD.— Transmissions par câbles métalliques.
HÉBERT.— Examen sommaire des boissons falsifiées.
GUENÉZ.— La décoration de la porcelaine au feu de moufle.
FERDINAND JEAN. — L'industrie des peaux et des cuirs.
NAUDIN.— Fabrication des vernis.
EMILE BOIRE.— La sucrerie.
LE VERRIER. — La fonderie.
SEYRIG. — Statique graphique.
CANDLOT.—Chaux, ciments et mortiers.
DUDEBOUT. — Appareils accessoires des moteurs à vapeur.
CRONEAU. — Canons, torpilles et cuirasses.
DURIN.—La saccharification des fécules.

Section du Bio

WURTZ.— Technique b
FAISANS.— Maladies des
piratoires.
AUVARD. — Gynécologie.
génitale.
G. WEISS.— Electricité
en médecine.
BAZY. — Maladies des v
MAGNAN et SÉRIEUX. — l
nique à évolution syst
POLIN et LABIT. — Exa
ments suspects.
MÉGNIN.— Les acariens
contagion à l'homme.
DE LAPERSONNE.— Mala
pières et des membran
DE BRUN.— Maladies de
CUÉNOT.— Les moyens de
la série animale.
LANNELONGUE.— La Tub
rurgicale.
STRAUS.— Les Bactéries.
LETULLE.— Maladies de
DASTRE.— La Digestion.
LAVERAN.— Paludisme.
FÉRÉ.— Epilepsie.
AIMÉ GIRARD.— La better
NAPIAS.— Hygiène indus
fessionnelle.
GOMBAULT.— Pathologie
chidien.
LEGROUX.— Pathologie g
tile.— Troubles de nutr
BROCQ et JACQUET. — Tr
taire et pratique de de
GÉRARD-MARCHANT. — Chi
tème nerveux.— Cerve
BERTHAULT.— Les prairie
temporaires.
CHARRIN. — Poisons de l
BRAULT. — Myocarde et
CORNEVIN. — Production
GAMALEÏA. — Vaccinations
ARLOING. — Maladies cha
OLLIER. — Les résections

COLUMBIA UNIVERSITY LIBRARIES

This book is due on the date indicated below, or at the expiration of a definite period after the date of borrowing, as provided by the rules of the Library or by special arrangement with the Librarian in charge.

DATE BORROWED	DATE DUE	DATE BORROWED	DATE DUE

C28(1140)M100

QP341 W43

Weiss

Technique d'électrophysiologie.

JUN 17 1941

AUG 15 1941 BINDERY